ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

DISEÑO DE LA COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR EN LA BANDA DE LOS 1900 MHZ CON LA TECNOLOGÍA CDMA 2000 1X-RTT PARA LA CIUDAD DE AMBATO.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

ROBERT SANTIAGO MALDONADO CHÉRREZ
IVÁN PATRICIO GARCÍA PEÑA

DIRECTOR: ING. PATRICIO ORTEGA

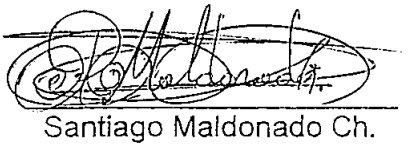
Quito, Noviembre 2005

DECLARACIÓN

Nosotros, Robert Santiago Maldonado Chérrez e Iván Patricio García Peña, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Iván García P.



Santiago Maldonado Ch.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Robert Santiago Maldonado Chérrez e Iván Patricio García Peña, bajo mi supervisión.

Ing. Patricio Ortega
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mis padres por brindarme el apoyo y la fortaleza para seguir adelante y cumplir mis propósitos.

Al Ing. Patricio Ortega por su consejo y guía durante la realización de este proyecto de titulación.

De manera muy especial agradezco al Ing. Christian Criollo, a la Ing. Allison Suárez y a todo el personal de Alegro PCS que nos colaboraron durante el desarrollo de nuestro proyecto.

A mi primo, Jorge Jaramillo, por la colaboración brindada en cada uno de los trabajos de dibujo arquitectónico que fueron necesarios anexar a nuestro proyecto de tesis.

A mi compañero y amigo, Iván Patricio García Peña por su dedicación y trabajo.

Santiago Maldonado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme finalizar con éxito una etapa más de mi vida y ser la guía de mi camino.

Agradecimiento especial para nuestro director el Ing. Patricio Ortega por ser la persona que nos ha sabido orientar a lo largo de esta etapa de culminación académica.

También quisiera agradecer a todo el personal de la empresa Alegro PCS, quienes nos abrieron sus puertas y nos brindaron su valiosa colaboración para el desarrollo de este proyecto.

A mi compañero y amigo, Robert Santiago Maldonado Chérrez por su dedicación y trabajo.

Iván García

DEDICATORIA

A mis padres, Rodrigo Maldonado y Lupe Chérrez que con mucho esfuerzo hicieron posible que cumpliera cada una de mis metas trazadas.

A mi hermana Carolina, a mis tíos, Carmen Maldonado y Ángel Cevallos, a mis primos Mauricio, Gabriel, Lorena y Cristina que con cariño y amor incondicional me brindaron siempre su apoyo.

A mi mejor amigo, Mauricio Almagro por su amistad sin límites y a todos mis amigos que siempre estuvieron animándome.

Santiago Maldonado

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a toda mi familia, en especial a mis padres, Roberto García y Georgina Peña, que representan la piedra fundamental de toda mi existencia, quienes con su cariño, ternura, amor y apoyo incondicional han sabido estar conmigo en las buenas y en las malas, dándome fuerzas para no desmayar en mis intentos y salir adelante, cumpliendo mis sueños y anhelos.

Iván García

CONTENIDO

	Página
PRESENTACIÓN	ix
RESUMEN	xii
CAPÍTULO I	
1. LA TECNOLOGÍA CDMA 2000	
1.1. CDMA 2000	1
1.1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.2. DESCRIPCIÓN	1
1.1.3. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS	2
1.1.3.1. Flexibilidad y Escalabilidad	4
1.1.3.2. Funcionalidad	4
1.1.3.3. Entornos	4
1.1.3.4. Capacidad	4
1.1.3.5. Señalización	5
1.1.3.6. Servicios	5
1.1.4. EVOLUCIÓN DE CDMA 2000	5
1.1.4.1. CDMA 2000 1X	6
1.1.4.2. CDMA 2000 1xEV	6
1.1.4.2.1. 1xEV- DO	6
1.1.4.2.2 1xEV-DV	6
1.1.5. CDMA 2000 Y EL ESPECTRO	7
1.1.6. POSICIONAMIENTO EN EL MERCADO	7
1.1.7. BENEFICIOS	8
1.1.8. ESTANDARIZACIÓN DEL IMT – 2000	10
1.2. CDMA 2000 1x RTT	11
1.2.1. DESCRIPCIÓN	11
1.2.2. ESTRUCTURA DE CAPAS	11
1.2.2.1. Capas Superiores	11

1.2.2.1.1. El Servicio de Voz 12
1.2.2.1.2. El Servicio de Datos 13
1.2.2.1.3. El Servicio de Señalización 13
1.2.2.2. Capa Enlace 14
1.2.2.2.1. La Subcapa LAC 14
1.2.2.2.2. La Subcapa MAC 16
1.2.2.3. Capa Física 16
1.2.2.3.1. Estructura de Canales Físicos 16
1.2.2.3.2. Canales Físicos en el Enlace Reverso 17
1.2.2.3.3. Canales Físicos en el Enlace Directo 18
1.2.2.3.4. Caracterización en la Expansión 19
1.2.2.3.5. Variabilidad a Diferentes Tasas de Transmisión 19
1.2.2.3.6. Características de Handoff 20

1.3. SERVICIOS DE COMUNICACIÓN PERSONAL (PCS) 20
1.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PCS 20
1.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS 22

CAPÍTULO II

2. PROCESO DE DISEÑO PARA LA COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR CON CDMA 2000

2.1. INTRODUCCIÓN 26
2.2. DISEÑO POR CAPACIDAD 27
2.2.1. OBJETIVOS 27
2.2.2. DEFINICIÓN DE CAPACIDAD CDMA 27
2.2.3. MEJORA EN LA CAPACIDAD DE CDMA2000 28
2.2.3.1. Enlace Directo 28
2.2.3.2. Enlace Reverso 28

2.2.4. CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE VOZ EN EL ENLACE REVERSO 28
2.2.4.1. Cálculo de la Capacidad 28

2.2.4.2. Capacidad Máxima (Pole) 29
2.2.4.3. Relación Eb/No vs. Rapidez del Móvil 30
2.2.4.4. Descanso Celular 31
2.2.4.5. Efecto de la Interferencia en la Capacidad de una Celda 31
2.2.5. CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE VOZ EN EL ENLACE DIRECTO 32
2.2.5.1. Cálculo de la Capacidad del Enlace Directo 32
2.2.5.2. Capacidad Máxima (Pole) 33
2.2.5.3. Tipos de Handoff 34
2.2.5.4. Factor de Reducción del Handoff 34
2.2.5.5. Actividad de Voz 35
2.2.6. TEORÍA DEL ENLACE 35
2.2.6.1. Sistemas de Radio Enlace 35
2.2.6.2. Definición de Erlang 36
2.2.6.3. Cálculo de la Carga del Sistema (Voz) 37
2.2.7. MECANISMOS DE BLOQUEO EN CDMA 37
2.2.8. CAPACIDAD PARA DATOS 38
2.2.8.1. Análisis Combinado 39
2.2.8.2. Análisis Separado 40
2.2.8.3. Aplicaciones para el Servicio de Datos 40

2.3. DISEÑO POR COBERTURA 41
2.3.1. OBJETIVOS 42
2.3.2. PROCESO DE DISEÑO POR COBERTURA 42
2.3.3. METAS DEL PROYECTO Y REQUERIMIENTOS 42
2.3.4. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA 43
2.3.5. CÁLCULO DE LOS ENLACES DIRECTO Y REVERSO 43
2.3.5.1. Provisión de los Enlaces 43
2.3.5.2. Cada Enlace Tiene su Propia Provisión 45
2.3.5.3. Factores del Provisionamiento del Enlace 46
2.3.5.4. El Enlace Reverso 47
2.3.5.4.1. Proceso de Planificación 47

2.3.5.4.2. Parámetros del Suscriptor 47
2.3.5.4.3. Parámetros de la Estación Base 48
2.3.5.4.4. Parámetros del Sistema 49
2.3.5.4.5. Parámetros del Entorno 50
2.3.5.4.6. Provisión del Enlace Reverso 51
2.3.5.5. El Enlace Directo 53
2.3.5.5.1. Canales en el Enlace Directo 53
2.3.5.5.2. Potencia de los Canales del Enlace Directo 54
2.3.5.5.3. Provisión del Enlace Directo 54
2.3.5.6. Selección del Modelo de Propagación 57
2.3.5.6.1. Modelo de Propagación de Okumura – Hata 57
2.3.5.6.2. Modificación del Modelo de Okumura – Hata para Sistemas PCS (Cost – 231) 59
2.3.5.6.3. Cálculo del Radio de la Celda 59

2.4. ESTUDIO DEL SITIO 60
2.4.1. OBJETIVOS 60
2.4.2. ESTUDIO DE LA RED DE RADIO 61
2.4.2.1. Consideraciones Básicas 61
2.4.3. SITIO ADECUADO 62
2.4.3.1. Ejemplo de la Selección del Sitio Apropiado 63
2.4.3.2. Obstáculos Horizontales y Verticales 63
2.4.4. VISITA AL SITIO 64

2.5. EL DESPLIEGUE DE LA RED 65
2.5.1. OBJETIVOS 65
2.5.2. PN OFFSET PLANNING 66
2.5.2.1. Propiedades de los códigos PN 67
2.5.2.2. El PN largo (Long PN) 68
2.5.2.3. El PN corto (Short PN) 68
2.5.2.4. El PN Offset Piloto 69
2.5.2.5. PN Piloto Incrementado (Piloto_Inc) 70
2.5.3. LISTA DE CONFIGURACIÓN ALEDAÑA 70

2.5.4. CRECIMIENTO DE LA RED 71

CAPÍTULO III

3. PLANIFICACIÓN PARA EL EQUIPAMIENTO DE RADIO BASES

3.1. INTRODUCCIÓN 72

3.2. LA ESTACIÓN RADIOBASE 72

3.3. LA RED DE COBERTURA 73

3.3.1. ANTENAS PARA ESTACIÓN RADIO BASE 73

3.3.1.1. Características 74

3.3.1.1.1. Polarización 74

3.3.1.1.2. Diagramas de Propagación 75

3.3.1.1.3. Ángulo de Media Potencia 76

3.3.1.1.4. Ganancia 76

3.3.1.1.5. Relación Frente/Atrás (F/A) 76

3.3.1.1.6. Impedancia 77

3.3.1.1.7. VSWR y Pérdida de Retorno 77

3.3.1.1.8. Downtilt (Inclinación del Haz) 78

3.3.1.1.9. Intermodulación 80

3.3.1.1.10. Estabilidad Mecánica 80

3.3.1.2. Antenas Omnidireccionales 81

3.3.1.3. Antenas Directivas con Panel Reflector (Paneles) 81

3.3.1.3.1. Diversidad 82

3.3.1.3.2. Diversidad en el Espacio 83

3.3.1.3.3. Diversidad por Polarización 84

3.3.1.4. El Duplexor 86

3.3.1.5. El Sistema RET (Ajuste del Tilt Eléctrico por Control Remoto) 87

3.3.1.6. Camuflaje de las Antenas 88

3.3.2. CABLES FEEDER 89

3.3.3. ABRAZADERAS 90

3.3.4. CABLE COAXIAL 90

3.3.5. CONECTORES 91

3.4. EL BACKHAUL 91

3.4.1. ENLACE POR MICROONDAS 92
3.4.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA ANTENA MICROONDA 93
3.4.3. GUÍA DE ONDA 94
3.4.4. LA UNIDAD RADIOBASE 94
3.4.4.1. Capacidad del Interfaz Aire 94
3.4.4.2. Capacidad del Hardware 95
3.4.4.3. Capacidad para el Backhaul 95

3.5. INFRAESTRUCTURA DE UNA ESTACIÓN RADIOBASE 95
3.5.1. CERRAMIENTO 95
3.5.2. SOPORTE PARA LAS ANTENAS 96
3.5.3. RADIOBASE IMPLEMENTADA SOBRE UN TERRENO 96
3.5.4. RADIOBASE IMPLEMENTADA SOBRE EDIFICACIÓN 98
3.5.5. CUARTO DE EQUIPOS O SHELTER 100
3.5.6. CARGA ELÉCTRICA AC 101
3.5.7. DIAGRAMA UNIFILAR 101
3.5.8. SISTEMA DC Y BANCO DE BATERÍAS 102
3.5.9. PROTECCIÓN ELÉCTRICA 103
3.5.10. AIRE ACONDICIONADO 103

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE LA COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR EN LA BANDA DE LOS 1900 MHZ CON LA TECNOLOGÍA CDMA 2000 1X-RTT PARA LA CIUDAD DE AMBATO

4.1. INTRODUCCIÓN 104
4.2. ANTECEDENTES 105
4.3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA PARA LA CIUDAD DE AMBATO 105
4.4. PROYECCIÓN ANUAL DE CRECIMIENTO DE ABONADOS 106
4.5. CÁLCULO DEL NÚMERO DE RADIO BASES 107

PARA LA COBERTURA EN LA CIUDAD DE AMBATO
4.5.1. DISEÑO POR COBERTURA 107
4.5.1.1. Número de radio bases según el enlace reverso 107
4.5.1.2. Número de radio bases según el enlace directo 108
4.5.2. DISEÑO POR CAPACIDAD 109
4.5.2.1. Número de radio bases según el enlace reverso 109
4.5.2.2. Número de radio bases según el enlace directo 111
4.6. DISTRIBUCIÓN DE RADIO BASES EN EL PLANO DE LA CIUDAD DE AMBATO 111
4.7. EL SIMULADOR TEMS 112
4.8. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL DISEÑO POR COBERTURA 112
4.9. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL DISEÑO POR CAPACIDAD 114
4.10. ESTUDIO DE LOS SITIOS 116
4.10.1. RADIO BASE CONCEPCIÓN 117
4.10.2. RADIOBASE MATRIZ 119
4.10.3. RADIOBASE MIRAFLORES 121
4.10.4. RADIOBASE MIÑARICA 123
4.10.5. RADIOBASE BELLAVISTA 125
4.10.6. RADIOBASE HUACHI CHICO 127
4.10.7. RADIOBASE MAYORISTA 128
4.11. PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA 129
4.12. PLANIFICACIÓN DEL EQUIPAMIENTO 131
4.12.1. ANTENA KATHREIN 742212 131

4.12.2. CONDUCTORES ANDREW 133

4.12.3. UNIDAD RADIO BASE ERICSSON RBS 1127 133

4.13. PN OFFSET PLANNING 135

4.13.1. LISTA DE CONFIGURACIÓN ALEDAÑA 136

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. INTRODUCCIÓN 139

5.2. COSTOS DE EQUIPAMIENTO 140

5.3. COSTOS DE INFRAESTRUCTURA 145

5.4. COSTOS DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES 158

5.5. COSTO TOTAL DEL PROYECTO 159

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DISEÑO 162

6.2. DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL OPERADOR 163

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ANEXO A GENERACIÓN DE CÓDIGOS WALSH

ANEXO B DISTRIBUCIÓN DE RADIO BASES EN EL PLANO DE LA CIUDAD DE AMBATO

ANEXO C SIMULACIONES DEL DISEÑO POR COBERTURA Y DISEÑO POR CAPACIDAD

ANEXO D PLANOS ESTRUCTURALES PARA LAS RADIO BASES EN LA CIUDAD DE AMBATO

ANEXO E EQUIPOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO I

Figura 1.1. Evolución de la tecnología CDMA} 5
Figura 1.2. Lanzamientos comerciales de CDMA 2000 8
Figura 1.3. Crecimiento de suscriptores de CDMA en el mundo 8
Figura 1.4. Estructura de la UIT para la estandarización del IMT – 2000 10
Figura 1.5. Espectro existente para las portadoras de 1.25 MHz 25
Figura 1.6. División de la Capa Enlace 14
Figura 1.7. Componentes de la subcapa LAC 15
Figura 1.8. Ilustración de las estructuras de los canales en cdma 2000 17
Figura 1.9. Estructura de los canales dedicados en el enlace reverso 18
Figura 1.10. Enlace directo con multiportadora 19

CAPÍTULO II

Figura 2.1. Relación Eb/No vs. Rapidez del móvil 31
Figura 2.2. Provisión del enlace 44
Figura 2.3. Cálculo del provisionamiento de enlace 45
Figura 2.4. Enlaces balanceados 45
Figura 2.5. Búsqueda del sitio Adecuado 62
Figura 2.6. Sitio nominal y Sitio Adecuado 63
Figura 2.7. Zona de Fresnel 64
Figura 2.8. Registro de Desplazamiento Lineal de Tercer Orden 66
Figura 2.9. Región de superposición 70

CAPÍTULO III

Figura 3.1. Visión general de las instalaciones para antenas en una RBS 73
Figura 3.2. Antenas panel de estación base para comunicación con 74

teléfonos celulares

Figura 3.3. Polarización para dipolos 75

Figura 3.4. Ejemplo de diagramas de propagación. 75

Figura 3.5. Angulo de media potencia de una antena 76

Figura 3.6. Relación frente / atrás en una antena 77

Figura 3.7. Relación de onda estacionaria (VSWR) 78

Figura 3.8. Propagación ideal entre células en un sistema 79

Figura 3.9. Downtilt Mecánico. 79

Figura 3.10. Downtilt Eléctrico 79

Figura 3.11. Instalación típica - Una antena de transmisión (TX) y dos antenas de recepción (RX). 81

Figura 3.12. Señal directa y reflejada en una recepción 82

Figura 3.13. Nivel de la señal obtenido por la diversidad en el espacio 84

Figura 3.14. Sistema de antenas sectorizadas usando Recepción por Diversidad en el Espacio, 3 antenas, 3 alimentadores 84

Figura 3.15. Sistema de antenas sectorizadas con Recepción de Diversidad de Polarización, 2 antenas, 3 alimentadores (feeders). 85

Figura 3.16. Antena polarizada en X para 2 canales de transmisión y 2 de recepción 1 Antena, 2 alimentadores (feeder), 2 Duplexores. 86

Figura 3.17. Sistema RET 87

Figura 3.18. Antenas camufladas de forma harmoniosa sin afectar el estilo arquitectónico de cada edificación 88

Figura 3.19. Fotos - Antenas camufladas 89

Figura 3.20. Elementos funcionales de un cable coaxial 90

Figura 3.21. Enlace entre RBS's y la BSC 92

Figura 3.22. Equipo para enlace microondas 93

Figura 3.23. Infraestructura en un terreno 96

Figura 3.24. Base y torre para soporte de antenas 97

Figura 3.25. Infraestructura sobre edificación 98

Figura 3.26. Base y torre para soporte de antenas 99

Figura 3.27. Soportes verticales para antenas 100

Figura 3.28. Cuarto de equipos o shelter 100

Figura 3.29. Diagrama unifilar 102

CAPÍTULO IV

Figura 4.1. Ubicación de la Radio Base Concepción 117

Figura 4.2. Fotografías del sitio La Concepción 118

Figura 4.3. Ubicación de la Radio Base Matriz 119

Figura 4.4. Fotografías del sitio La Matriz 120

Figura 4.5. Ubicación de la Radio Base Miraflores 121

Figura 4.6. Fotografías del sitio Miraflores 122

Figura 4.7. Ubicación de la Radio Base Miñarica 123

Figura 4.8. Fotografías del sitio Miñarica 124

Figura 4.9. Ubicación de la Radio Base Bellavista 125

Figura 4.10. Fotografías del sitio Bellavista 126

Figura 4.11. Ubicación de la Radio Base Huachi Chico 127

Figura 4.12. Fotografía del sitio Huachi Chico 128

Figura 4.13. Ubicación de la Radio Base Mayorista 128

Figura 4.14. Fotografía del sitio Mayorista 129

Figura 4.15. Antena Kathrein 742212 132

Figura 4.16. Ericsson RBS 1127 133

ÍNDICE DE TABLAS

Página

CAPÍTULO I

Tabla 1.1.	Parámetros de la tecnología CDMA 2000	3
Tabla 1.2.	Cuadro de ventajas y desventajas de los PCS sobre TDMA	23
Tabla 1.3.	Cuadro de ventajas y desventajas de los PCS sobre GSM	24
Tabla 1.4.	Cuadro de ventajas y desventajas de los PCS sobre GPRS	25
Tabla 1.5.	Cuadro de ventajas y desventajas de los PCS sobre EDGE	25

CAPÍTULO II

Tabla 2.1.	Ganancia Soft Handoff	50
Tabla 2.2.	Pérdidas por penetración	51
Tabla 2.3.	Resultados del análisis del enlace reverso	52
Tabla 2.4.	Parámetros Asumidos y Valores de Constantes	52
Tabla 2.5.	El PIRE depende del número de canales activos	55
Tabla 2.6.	Ganancia total de la estación móvil	55
Tabla 2.7.	Pérdida de recepción total	56
Tabla 2.8.	Márgenes totales	56
Tabla 2.9.	Sensibilidad del receptor	56

CAPÍTULO III

Tabla 3.1.	Dimensiones del cable para una impedancia típica de 50 ohms con base en la frecuencia	90

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1.	Proyección de Abonados	106
Tabla 4.2.	Proyección anual de abonados	106

Tabla 4.3. Tráfico promedio de usuarios prepago y postpago 109
Tabla 4.4. Erlangs requeridos 110
Tabla 4.5. Significado de colores del simulador TEMS 112
Tabla 4.6. Radio bases del diseño por cobertura 113
Tabla 4.7. Configuración de radio bases 113
Tabla 4.8. Radio bases del diseño por capacidad 114
Tabla 4.9. Configuración de radio bases 115
Tabla 4.10. Características físicas de la antena Kathrein 742212 132
Tabla 4.11. PN-Offset para los sectores de cobertura 135
Tabla 4.12. Configuración Aledaña para cada uno de los sectores 138

CAPÍTULO V

Tabla 5.1. Costo equipamiento 140
Tabla 5.2. Costo cableado torre h = 30m 142
Tabla 5.3. Costo cableado torre h = 36m 144
Tabla 5.4. Costo equipo DC y Aire acondicionado 144
Tabla 5.5a. Costos de infraestructura la Concepción 147
Tabla 5.5b. Costos de infraestructura la Matriz 149
Tabla 5.5c. Costos de infraestructura Miraflores 151
Tabla 5.5d. Costos de infraestructura Miñarica 154
Tabla 5.5e. Costos de infraestructura Bellavista 156
Tabla 5.5f. Costos de infraestructura Huachi Chico y Mayorista 158
Tabla 5.6. Costos de ingeniería 158
Tabla 5.7. Costo total del proyecto 159

PRESENTACIÓN

La tecnología ha tenido un gran desarrollo durante los últimos años y las comunicaciones móviles no pueden ser la excepción. Este desarrollo obedece al nivel de competitividad que tiene como principal objetivo la captación de más mercado y de usuarios para el caso de la telefonía celular.

Ecuador ha sido parte de la evolución de las comunicaciones móviles y actualmente tiene tecnología de tercera generación como es CDMA 2000 1X; por lo que ha motivado a utilizar esta tecnología y aplicarla en un diseño de la cobertura de telefonía móvil celular para la ciudad de Ambato.

El proyecto parte con la descripción, parámetros y características más importantes de la tecnología CDMA 2000 y la posición que esta tiene en el mercado de las telecomunicaciones a nivel mundial. También se da a conocer el proceso de diseño para la cobertura con CDMA 2000, en el que se describe el método de diseño por capacidad y por cobertura, así como las condiciones de su aplicación dependiendo de las necesidades de capacidad y geografía del lugar. El diseño está estructurado de tal manera que se tenga la opción de escoger un método de diseño de acuerdo a los requerimientos de capacidad y de cobertura, fundamentado por criterios que respalden el método seleccionado.

En el diseño por capacidad se estima una cantidad inicial de abonados a servir y su proyección de crecimiento a tres años. Para el cálculo de la capacidad de una celda se consideran ciertos factores como:

- Factor de actividad de voz
- Factor de hora pico
- Factor de carga
- Capacidad máxima (Pole)
- Tipo de Handoff

Los que son tomados en cuenta para el cálculo del número de radio bases necesarias para cubrir la ciudad de Ambato. Además la influencia del número de usuarios de datos en nuestro medio no tiene mayor impacto en la capacidad diseñada para voz, por lo que se considera un cierto porcentaje de los abonados totales estimados.

En el diseño por cobertura, se toman en cuenta diversos parámetros como son:

- Parámetros del subscriptor
- Parámetros de la estación base
- Parámetros del sistema
- Parámetros del entorno

Los que se consideran en el provisionamiento del enlace directo y enlace reverso, para posteriormente aplicar el modelo de propagación COST-231 y determinar el radio de la celda.

Las radio bases obtenidas según cada método de diseño se ubican sobre mapas topográficos digitalizados y con la ayuda de la herramienta de simulación se pudo visualizar el impacto que tiene la topografía de la ciudad en el análisis de cobertura. Además, esta herramienta permite modificar la ubicación y características de cada radio base con el propósito de alcanzar una cobertura adecuada y posteriormente decidir mediante una comparación de resultados cual es el diseño apropiado para la ciudad de Ambato.

Del resultado del diseño escogido, por ser el más adecuado, se determinó la ubicación de las radio bases en el mapa de la ciudad. El sitio donde se propone la edificación de una radio base es el más conveniente. Los sitios propuestos se ilustran por medio de fotografías y se describe el en torno en donde estará ubicada cada radio base.

En el equipamiento de telecomunicaciones de las estaciones radio bases se tiene elementos como:

- Antenas
- Unidad radio base
- Cables y conectores
- Equipo de microondas

Y de cada elemento se destacan sus principales características físicas y técnicas.
La propuesta de infraestructura se presenta por medio de planos. En estos se incluye la implantación general, la caseta o cuarto de equipos y la torre.

Por último, se hace la estimación de costos de los rubros que intervienen en el diseño propuesto.

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza un diseño de cobertura de telefonía móvil celular en la banda de los 1900 MHz para la ciudad de Ambato usando la tecnología CDMA 2000 1X-RTT.

Este proyecto consta de 6 capítulos y 4 anexos que se resumen a continuación:

CAPÍTULO I, "LA TECNOLOGIA CDMA 2000"

Describe brevemente la tecnología CDMA 2000 1X RTT, destacando sus principales características, posición en el mercado mundial de las comunicaciones móviles, beneficios y estructura de capas. También se describen a los Servicios de Comunicación Personal (PCS) y se establecen sus ventajas y desventajas

CAPÍTULO II, "PROCESO DE DISEÑO PARA LA COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR CON CDMA 2000"

Trata el proceso de diseño de la cobertura de telefonía móvil celular con tecnología CDMA2000, tomando en cuenta dos métodos, diseño por capacidad y diseño por cobertura. También se describe el proceso de selección de sitios y el "PN offset planning".

CAPÍTULO III, "PLANIFICACIÓN PARA EL EQUIPAMIENTO DE RADIO BASES"

Se incluyen los elementos de hardware como, antenas, unidad radio base, equipo microondas y además se trata las condiciones de infraestructura como, torres, cerramiento, cuarto de equipos, aire acondicionado, energización, necesarios para la adecuación del sitio.

CAPÍTULO IV, "DISEÑO DE LA COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR EN LA BANDA DE LOS 1900 MHz CON LA TECNOLOGÍA CDMA 2000 1X-RTT PARA LA CIUDAD DE AMBATO"

Desarrolla el diseño aplicado en la ciudad de Ambato; es decir, el proceso que implica hacer los cálculos de capacidad de tráfico de voz y datos, capacidad para el enlace directo y el enlace reverso, estimaciones de cobertura de acuerdo a la topografía, selección de lugares para el montaje de estaciones base y "PN Offset planning".

CAPÍTULO V, "ANÁLISIS DE COSTOS"

Muestra una estimación de costos de los diferentes rubros de implementación del diseño propuesto, estos rubros comprenden, equipos de telecomunicaciones, infraestructura e ingeniería para, posteriormente, tomarlos en cuenta en la cuantificación de todo el diseño.

CAPÍTULO VI, "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

ANEXO A, "GENERACIÓN DE CÓDIGOS WALSH"

Incluye la sustentación teórica de la generación de códigos Walsh utilizados en CDMA.

ANEXO B, "DISTRIBUCIÓN DE RADIO BASES EN EL PLANO DE LA CIUDAD DE AMBATO"

Contiene la distribución de radio bases correspondientes a los métodos de diseño por cobertura y por capacidad.

ANEXO C, "SIMULACIONES DEL DISEÑO POR COBERTURA Y DISEÑO POR CAPACIDAD"

Contiene las simulaciones correspondientes a los métodos de diseño por cobertura y por capacidad, tomando en cuenta las recomendaciones necesarias para brindar cobertura en una zona urbana.

ANEXO D, "PLANOS ESTRUCTURALES PARA LAS RADIO BASES EN LA CIUDAD DE AMBATO"

Expone el planteamiento estructural para los sitios en donde se propone la implantación de las radio bases.

ANEXO E, "EQUIPOS"

Incluyen las hojas de datos de cada uno de los equipos que se consideran en el diseño propuesto.

CAPÍTULO I

1. LA TECNOLOGÍA CDMA 2000

1.1. CDMA 2000

1.1.1. INTRODUCCIÓN

CDMA 2000 es una solución de tercera generación. A diferencia de otros estándares de 3G, CDMA 2000 es el resultado de la evolución de un estándar inalámbrico existente. CDMA 2000 provee servicios de tercera generación descritos por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en la IMT-2000. Las redes 3G proporcionarán servicios inalámbricos con mejor eficiencia y gran rentabilidad. La meta es acceder a cualquier servicio, en cualquier lugar, a cualquier hora desde una terminal. CDMA 2000 está diseñado para proporcionar mejor desempeño en los servicios de voz y datos.
El estándar CDMA 2000 está evolucionando para ofrecer continuamente nuevos servicios en una portadora estándar de 1.25 MHz. La primera fase de CDMA 2000 o CDMA 2000 1x entregará transmisión de datos a 144 Kbps. La fase dos, llamada CDMA 2000 1xEV proveerá transmisiones mayores a los 2 Mbps.

1.1.2. DESCRIPCIÓN

CDMA 2000 es una tecnología de banda ancha, de espectro expandido, que usa Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) y se ajusta a las nuevas necesidades de los sistemas de comunicación inalámbrica de la siguiente generación. Al ser una tecnología de radio que cumple con el propósito del estándar IMT-2000, puede soportar varias aplicaciones y servicios, entre los que podemos mencionar:

- Gran operabilidad en diferentes entornos (internos, externos, móviles o fijos)
- Gran desempeño con diversas aplicaciones (desde voz, bajas y altas velocidades de datos)

- Flexibilidad en los servicios aplicados (incluye solo voz, simultáneamente voz y datos, solamente datos y servicio de mensajería)
- Excelente calidad de servicio
- Desempeño óptimo en los espectros asignados para telefonía celular.
- Soporta los actuales servicios, tales como, servicio de voz, servicio de datos y servicio de mensajes cortos (SMS).

1.1.3. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS

El subcomité TR-45.5 de la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA) aprobó una tecnología de radio transmisión (RTT) llamada CDMA 2000. Esta RTT protege inversiones en el equipo y en los sistemas CDMA. La tecnología propuesta explota al máximo la capacidad del sistema CDMA para brindar servicios de tercera generación.
Entre los parámetros principales de CDMA 2000 tenemos:

- El interfaz de radio ofrece significativas ventajas para incrementar la funcionalidad y la capacidad:
  - Uso de un canal piloto para los enlaces directo y reverso
  - Uso de un canal de control para los niveles de potencia
  - Uso de canales piloto auxiliares para incrementar la capacidad
- Velocidades de datos de 9.6 Kbps hasta 2 Mbps.
- Portadoras con diferente ancho de banda:
  - 1.25 MHz
  - 3.75 MHz
  - 7.5 MHz
  - 11.25 MHz
  - 15 MHz
- Una mejor subcapa MAC (Medium Access Control) para una alta eficiencia con paquetes de datos
- Señalización de capas superiores de CDMA 2000
- Alta calidad de servicio QoS
- Capacidad de brindar diferentes QoS de acuerdo a los requerimientos de los servicios

- Flexibilidad en la transmisión de voz, datos y simultáneamente voz y datos de acuerdo al entorno en que se aplica
- Dos modalidades aplicables en el enlace directo:
  - Multiportadora (MC)
  - Dispersión directa (DS)

La tabla 1.1 muestra los parámetros más representativos de la tecnología CDMA 2000:

Ancho de Banda del Canal	1.25, 3.75, 7.5, 11.25, 15 MHz
Estructura del Canal de RF para el enlace directo	Dispersión directa o multiportadora
Chip Rate	1.2288 - 3.6864 - 7.3728 - 11.0593 - 14.7456 Mcps para dispersión directa n x 1.2288 Mcps (n = 1, 3, 6, 9, 12) para multiportadora.
Longitud de Trama	20 ms para datos de usuario y control; 5 ms para control de la información sobre el canal fundamental y canal dedicado al control.
Modulación de datos	QPSK para el enlace directo BPSK para el enlace reverso
Detección coherente	A través de un canal piloto para los enlaces directo y reverso
Canales multiplexados en el enlace reverso	Control, piloto, fundamental y suplementario
Factores de expansión	4 – 256
Expansión (enlace directo)	Longitud variable de las secuencias de "Walsh", M – secuencias 2^{15} para la separación de canal.
Expansión (enlace reverso)	Longitud variable de las secuencias de "Walsh", M – secuencias 2^{41} para la separación de canal.
Handoff	Soft handoff

Tabla 1.1. Parámetros de la tecnología CDMA 2000

1.1.3.1. Flexibilidad y Escalabilidad

Debido a la interacción con redes de diferente tipo que debe soportar una red de cobertura global (tales como, Red Digital de Servicios Integrados, Redes Celulares Análogas, Red Telefónica Pública Conmutada, Redes de Datos, Redes Satelitales), ésta debe suministrar las interfaces adecuadas para la interoperabilidad, y poseer elevados niveles de gestión que permitan realizar cambios en su estructura inicial sin afectar el funcionamiento.

1.1.3.2. Funcionalidad

El sistema CDMA 2000 puede operar en diversas velocidades de datos, desde 9.6 Kbps hasta altas velocidades de 2 Mbps.
Máxima flexibilidad que permite ajustarse a las exigencias de ingeniería, entre las que podemos mencionar:

- Canales de 1, 3, 6, 9 y 12 x 1.25 MHz
- Operabilidad con antenas inteligentes
- Ajustable a diferente radio de las celdas
- Canales que soportan altas tasas de datos

1.1.3.3. Entornos

El sistema CDMA 2000 puede operar en varios entornos, los que pueden ser fijos o móviles:

- Megaceldas (mayor a 35 km de radio)
- Macroceldas (de 1 a 35 km de radio)
- Microceldas (alrededor de 1km de radio)
- Picoceldas (menor a 50 m de radio)

1.1.3.4. Capacidad

Se refiere a la cantidad de usuarios que se pueden atender simultáneamente. Es un factor de elevada relevancia, pues del adecuado dimensionamiento de la capacidad del sistema, según la demanda de servicio, depende la calidad del servicio que se preste al usuario.

La tecnología debe ser tal que satisfaga las condiciones de tráfico inicial y del mismo modo, que permita el manejo sin problemas de incrementos futuros en el número de abonados.

1.1.3.5. Señalización

Posee una estructura adecuada para soportar diversas aplicaciones en las capas superiores.

1.1.3.6. Servicios

Son aquellos elementos de redes que ofrecen servicios avanzados; combinan funcionalidades escalables, bajos costos de adquisición y uso, y representan nuevas oportunidades de negocios los cuales generan importantes utilidades a los operadores y que a su vez los ayudan a incrementar la lealtad de sus clientes.

1.1.4. EVOLUCIÓN DE CDMA 2000

La Figura 1.1 muestra la evolución que ha tenido la tecnología CDMA, desde sus inicios hasta la actualidad.

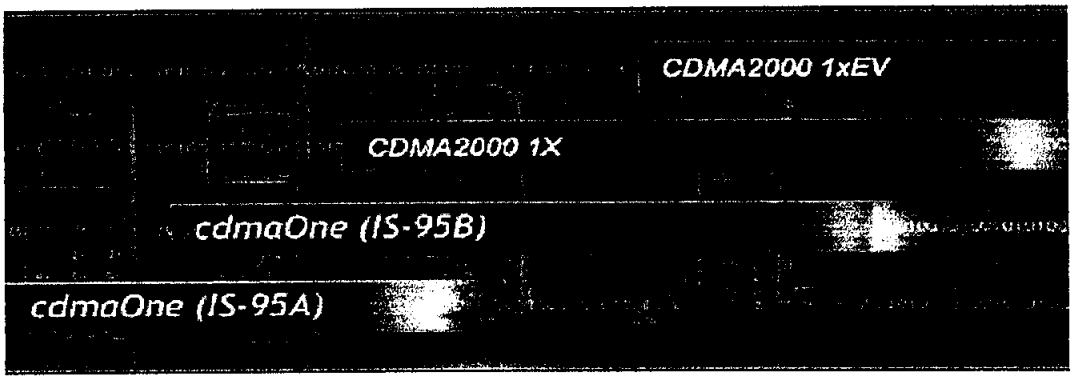


Figura 1.1. Evolución de la tecnología CDMA

1.1.4.1. CDMA 2000 1X [1]

Suministra velocidades de transmisión de datos por paquetes de 153 Kbps (versión 0) y de 307 Kbps (versión 1) en contextos móviles. Las transmisiones de datos promedio son de 144 Kbps.

1.1.4.2. CDMA 2000 1xEV

Es el siguiente paso en la evolución de CDMA 2000 1X y se llama CDMA 2000 1xEV. 1xEV será dividido en dos etapas: 1xEV-DO y 1xEV-DV. 1xEV-DO significa 1X Evolution Data Only (Evolución Solamente para Datos). 1xEV-DV significa 1X Evolution Data and Voice (Evolución, Voz y Datos). Ambas proveen servicios avanzados CDMA 2000 utilizando el estándar de portadora de 1.25 MHz. [2]

1.1.4.2.1. 1xEV- DO [3]

CDMA 2000 1xEV- DO es parte de la evolución de CDMA 2000 1X que permite soportar velocidades de datos de hasta 2.4 Mbps para aplicaciones fijas y móviles en un canal estándar de 1.25 MHz.

CDMA 2000 1xEV-DO amplía las ventajas de CDMA 2000 proporcionando una capacidad sumamente alta en una pequeña cantidad de espectro, ofreciendo a los operadores inalámbricos una solución muy sólida para ofrecer servicios de banda ancha comparable a soluciones alámbricas, como DSL o cable, que son lo suficientemente rápidos para soportar exigentes aplicaciones, como el video y la descarga de archivos.

Los dispositivos CDMA 2000 1xEV-DO proporcionan paquetes de conexiones de datos "always-on" (siempre activos) que ayudan a simplificar el acceso inalámbrico y a hacerlo más rápido y más útil.

1.1.4.2.2. 1xEV-DV [4]

Parte de una familia de normas inalámbricas digitales CDMA 2000 1x y propuesto por Motorola que incluye el servicio de voz en paquetes. CDMA 2000 1xEV-DV (voz y datos)

ofrecerá velocidades pico de hasta 4.8 Mbps con voz y datos transportados en un solo canal.

EV-DV simboliza "Evolución, Datos y Voz", se dirige tanto a datos como a voz, al contrario de 1xEV-DO, qué sólo se dirige a los datos.

1.1.5. CDMA 2000 Y EL ESPECTRO [1]

CDMA 2000 está diseñado para operar en todas las bandas de espectro atribuidas para los servicios de telecomunicaciones inalámbricos, incluyendo las bandas analógicas, celulares y de PCS. Más aún, CDMA 2000 posibilita la prestación de servicios 3G haciendo uso de una cantidad muy pequeña de espectro (1.25 MHz por portadora), protegiendo este recurso precioso para los operadores.

Estas bandas incluyen:

450 MHz	1700 MHz
700 MHz	1800 MHz
800 MHz	1900 MHz
900 MHz	2100 MHz

1.1.6. POSICIONAMIENTO EN EL MERCADO

CDMA 2000, que se encuentra comercialmente disponible desde hace más de cuatro años, fue la primera tecnología de tercera generación que hizo realidad la visión del IMT-2000. El primer sistema 3G a nivel mundial fue lanzado en Corea del Sur a fines del 2000. Hoy, más de 112.6 millones de suscriptores acceden a servicios avanzados sobre 97 redes CDMA 2000 en Asia, Europa y América. Otras 35 redes CDMA 2000 van a ser desplegadas por el mundo entero en el transcurso de los años. [1]

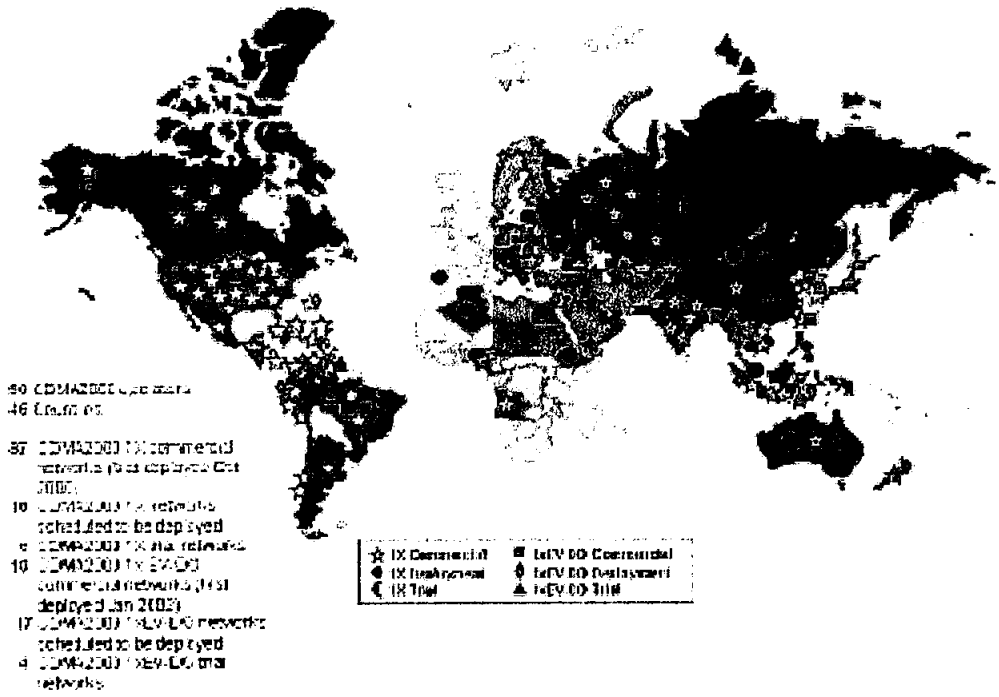


Figura 1.2. Lanzamientos comerciales de CDMA 2000

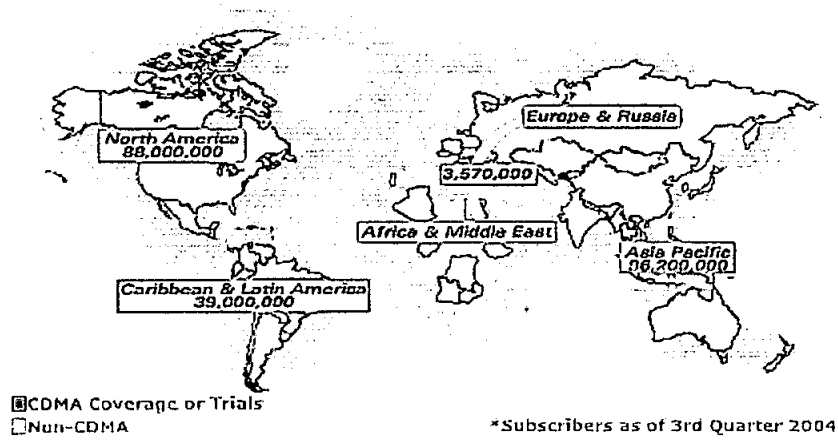


Figura 1.3. Crecimiento de suscriptores de CDMA en el mundo

1.1.7. BENEFICIOS [5]

Compatibilidad con implementaciones CDMA One

- Protección de la inversión del operador en redes CDMA One existentes.
- Provee migración simple y económica a servicios 3G.

Mejora en Voz

- Mejora en la calidad de Voz.
- Mejor capacidad.

Soporte a Servicios de Datos de Alta Velocidad

- Tasas de transmisión más altas (144 kbps a 2 Mbps).
- Soporte a datos de baja latencia.

Soporte a Servicios Multimedios

- Soporte simultáneo de Voz/datos para multi-servicios.
- Calidad en el Servicio (QoS).

Beneficios Especiales

- Servicio de Follow-Me (Antenas Inteligentes).
- Confiabilidad en las comunicaciones.
- Vida extendida de la Batería.

La terminal de suscriptor CDMA 2000 ofrecerá:

- Tri-modo: 800 / 1900 CDMA y 800 analógico.
- Capacidad y cobertura mejorada.
- Capacidad de Paquetes de Datos a 144 kbps.
- Soporte simultáneo de voz y datos.
- Permitirá Bluetooth/WAP.

1.1.8. ESTANDARIZACIÓN DEL ITM – 2000

En esta sección se describirá a la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y su organización para el desarrollo de los sistemas de tercera generación.

- *LA UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES*

La figura 1.4 muestra la organización de la UIT para la estandarización del ITM – 2000.
La estandarización de las telecomunicaciones en la UIT se divide en dos sectores: el sector de Radiocomunicaciones (UIT - R) y el sector de Telecomunicaciones (UIT - T). El Grupo de Coordinación Intermedio (GCI) que organiza el estándar IMT – 2000 para los aspectos de red y los aspectos de radio.
El IMT – 2000 para los aspectos de radio está siendo estandarizado por el "Task Group (TG)" 8/1 en la UIT – R. El TG 8/1 también es responsable de la arquitectura general del IMT – 2000 dentro de la UIT.
En la UIT – T, el "SG8" es responsable de la coordinación para la estandarización de la red IMT – 2000.

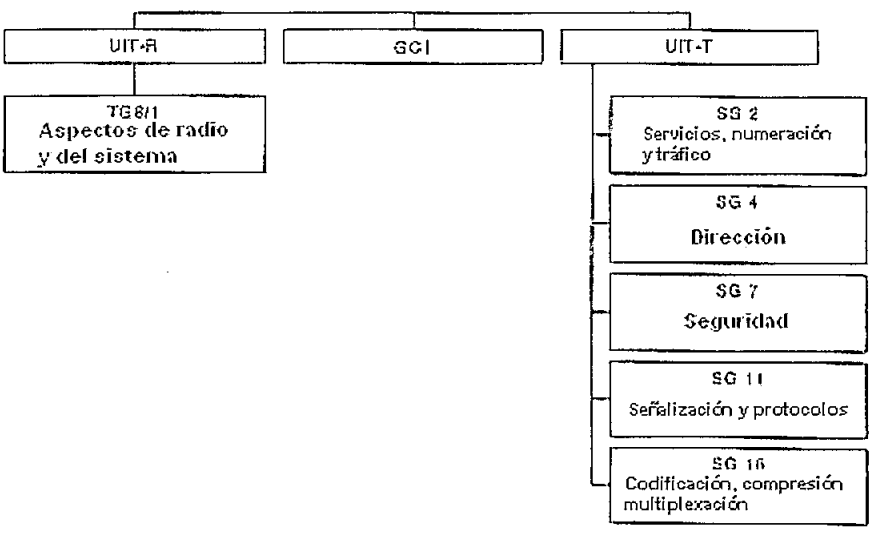


Figura 1.4. Estructura de la UIT para la estandarización del IMT – 2000

1.2. CDMA 2000 1x RTT

1.2.1. DESCRIPCIÓN [6]

El estándar IS-2000 (CDMA2000 1X) fue publicado por la TIA (*Asociación de Industrias de Telecomunicaciones*). Las transmisiones de datos promedio son de 144 Kbps. 1X se refiere a la implementación de CDMA 2000 dentro del espectro existente con portadoras de 1.25 MHz. El termino técnico se deriva de N = 1 (es decir, el uso de una portadora de 1.25 MHz) y el 1X significa una vez 1.25 MHz.

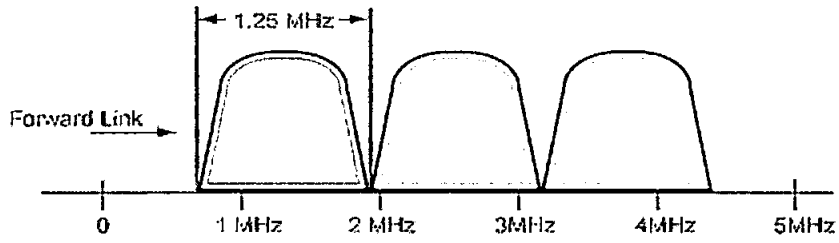


Figura 1.5. Espectro existente para las portadoras de 1.25 MHz

CDMA 2000 1X puede ser implementado en un espectro existente o en un nuevo espectro designado.

1.2.2. ESTRUCTURA DE CAPAS

1.2.2.1. Capas Superiores

La Tecnología de Transmisión de Radio (RTT) CDMA 2000 1x proporciona un marco flexible y abierto para la inclusión de servicios en las capas superiores con diferentes configuraciones dependiendo de las capacidades requeridas y el entorno de la red en donde se encuentra integrada. Los servicios de capas superiores se clasifican en tres categorías:

- *Servicios de voz.*- Brindar servicios telefónicos (incluyendo acceso PSTN y servicios de voz de estación móvil a estación móvil).

- *Servicio de transporte de datos de usuario.*- Servicios entregados por la estación móvil de usuario, estos pueden ser paquetes de datos, transferencia de imágenes, servicios de mensajes cortos (SMS), etc.
- *Señalización.*- Servicios que controlan todos los aspectos de operación de la estación móvil.

Además, CDMA 2000 1xRTT soporta servicios Multimedios avanzados que integran alguno o todos estos tipos de servicios, para los que se tienen las siguientes capacidades:

- Soporta múltiples sesiones simultáneas activas con cualquier combinación de tipos de servicio (voz, datos, imagen);
- Avanzada calidad de servicio (QoS), mecanismos de control para especificar, negociar, entregar, y renegociar (si fuera necesario) dinámicamente los parámetros QoS para cada sesión activa; y
- Sofisticado Control de Acceso al Medio (MAC) que proporciona operación eficiente, alto rendimiento, así como una óptima capacidad de la interfaz aire. Se puede tener una alta eficiencia aún cuando muchas estaciones móviles se encuentren activas simultáneamente teniendo diferentes requerimientos de QoS.

1.2.2.1.1. El Servicio de Voz

El estándar CDMA 2000 opera con las siguientes principales configuraciones de servicio de voz:

- *Sistema de voz compatible con CDMA One.*- Tráfico de voz codificado utilizando un vocoder[1] compatible con CDMA One, transportado directamente dentro de un canal fundamental.
- *Trasporte de voz CDMA 2000 sobre paquetes de datos.*- Tráfico de voz codificada transportada como paquete de datos con un vocoder de aplicación específica usando el estándar CDMA 2000 de servicio de paquete de datos.

[1] Codificador de voz que reduce el ancho de banda necesario para la transmisión de voz con una buena calidad

1.2.2.1.2. El Servicio de Datos

CDMA 2000 define dos tipos de servicio de datos en general:

- *Servicios de paquete de datos.-* Servicios portadores que conforman estándares industriales orientados a conexión, incluyendo protocolos basados en IP.
- *Servicios de circuitos de datos.-* Servicios portadores que emulan estándares internacionales definiendo servicios orientados a conexión como acceso asincrónico vía dial-up, fax y servicios B-RDSI.

1.2.2.1.3. El Servicio de Señalización

Dentro de CDMA 2000 están definidos dos servicios de señalización:

- *Servicios de señalización IS-95 2G.-* Compatible con sistemas de voz de CDMA One.
- *Entidades*[2] *de señalización de capa superior CDMA 2000.-* Proporciona soporte total para todos los servicios CDMA 2000 actuales y futuros.

Además, CDMA 2000 ha sido diseñada para incorporar otros servicios de señalización de capa superior como los servicios de señalización definidos por la UIT. Estos servicios se presentan de dos modos:

- *Señalización emulada.-* Si una petición de servicio de señalización corresponde directamente a un servicio de señalización CDMA 2000 (ó CDMA One compatible), entonces la petición de servicio de señalización es orientada directamente por la función de señalización de capa superior.
- *Señalización encapsulada.-* Si una petición de servicio de señalización no corresponde directamente a un servicio de señalización CDMA 2000 (ó CDMA One compatible), entonces la petición de servicio de señalización es interpretada como señalización de datos y es transportada (transparentemente) por la Capa Enlace (vía el Interfaz de

[2] En el modelo de referencia OSI se refiere a los elementos activos de cada una de las capas y puede ser software o hardware

Servicio de Capa Enlace) al otro terminal mediante el servicio señalización fuera de la estación móvil (p.ej., con la estación base o MSC).

1.2.2.2. Capa Enlace

Se proporcionan servicios de transporte de información a través de mecanismos de control provistos por la capa enlace. Los niveles de confiabilidad y calidad de servicio (QoS) varían según las necesidades del servicio específico de capa superior.
La capa enlace está dividida en dos subcapas (como muestra la Figura):

- La subcapa de Control de Acceso al Enlace (LAC);
- La subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC).

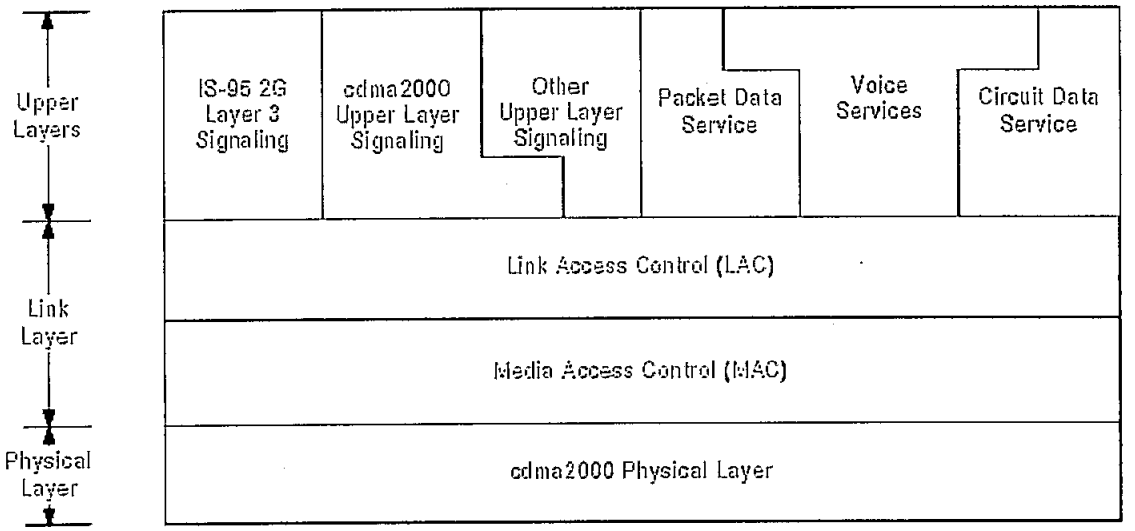


Figura 1.6. División de la Capa Enlace

1.2.2.2.1. Subcapa LAC

La subcapa LAC proporciona el transporte seguro de datos sobre la interfaz aire. La subcapa LAC asegura una transmisión confiable empleando un número de protocolos ARQ diferentes para proporcionar la calidad de servicio requerido por cada entidad de capa superior y ser entregados a la subcapa MAC. Estos protocolos garantizan la entrega libre de errores.

La subcapa LAC se preocupa de manejar los canales de comunicación punto-punto entre entidades pares de capas superiores. LAC proporciona un marco para soportar una amplia gama de protocolos confiables de capa enlace terminal a terminal (de hecho, la LAC es extensible para incorporar cualquier protocolo conveniente de Capa Enlace). Los factores que motivan para esta extensibilidad son los siguientes:

- Entidades de capas superiores tienen diferentes requerimientos de QoS (p.ej., la tasa de error, el retardo, el grado de transparencia, etc.).
- La subcapa MAC proporciona diferentes QoS a la subcapa de LAC (p.ej., en modo de operación diferente).
- La subcapa MAC puede ser reducida para la compatibilidad con otros protocolos de capa enlace.

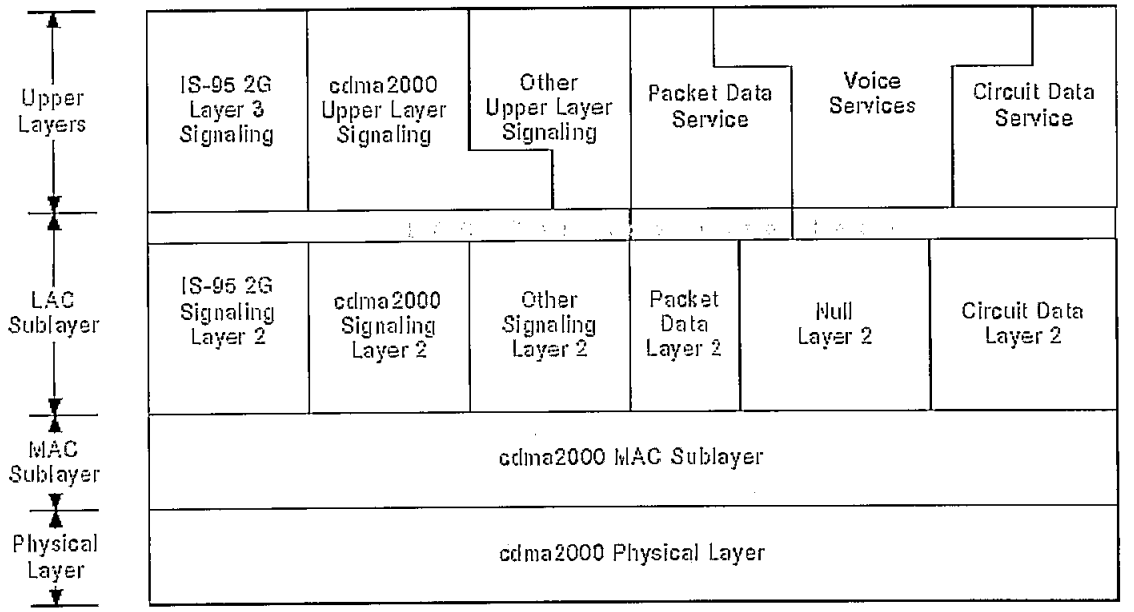


Figura 1.7. Componentes de la subcapa LAC

Los protocolos de Capa Enlace (Figura 1.7) soportados por la LAC incluyen:

- Señalización IS-95 2G de Capa 2
- Señalización CDMA 2000 de Capa 2
- CDMA 2000 paquete de datos de Capa 2
- CDMA 2000 circuito de datos de Capa 2

- Un Protocolo de Capa Enlace Nulo (en situaciones donde MAC proporciona un adecuado QoS sin intensificar su operación).

1.2.2.2.2. Subcapa MAC

La subcapa MAC proporciona la función de control que maneja los recursos suministrados por la capa física y coordina el uso de estos recursos solicitados por varias entidades de servicios de la subcapa LAC. Esta función de coordinación resuelve problemas de contención entre entidades de servicio de la subcapa LAC dentro una sola estación móvil, así como en la competición entre estaciones móviles. La subcapa MAC es también responsable de entregar el nivel de QoS solicitado por la entidad de servicio de la subcapa LAC. (p.ej., por reservación de recursos de interfaz aire).

1.2.2.3. La Capa Física

1.2.2.3.1. Estructura de Canales Físicos

En las siguientes figuras se exponen las estructuras de los canales en CDMA 2000. Actualmente existen 2 alternativas para el enlace directo:

- Multiportadora
- Dispersión directa

La transmisión por multiportadora para el enlace directo se realiza con 3 portadoras consecutivas, como se muestra en la Figura 1.8, en donde cada portadora tiene una velocidad de chip[3] de 1.2288 Mcps.
Para el caso de dispersión directa, la transmisión usual para el enlace directo tiene un chiprate (velocidad de chips) de 3.6864 Mcps.
La eficiencia espectral con multiportadora es un 5% a 10% menor que dispersión directa.

[3] Cada bit se subdivide en *m* intervalos cortos llamados chips

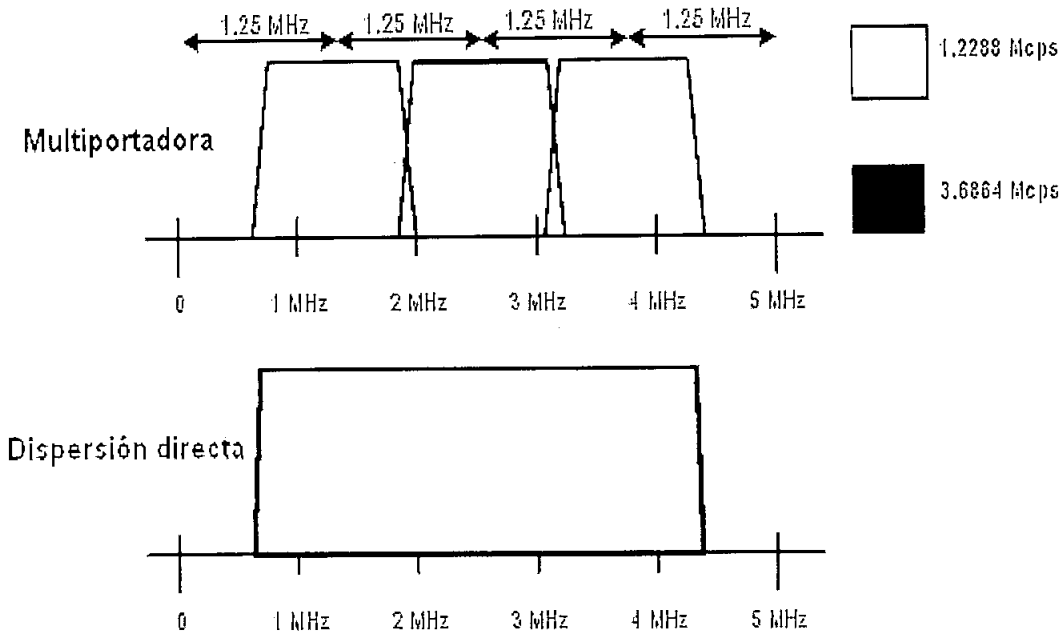


Figura 1.8. Ilustración de las estructuras de los canales en cdma 2000

La capa física genera un conjunto de canales físicos que son transmitidos al medio inalámbrico, los canales físicos se dan de la siguiente manera:

1.2.2.3.2. Canales Físicos en el Enlace Reverso

Para el enlace reverso existen 4 diferentes canales dedicados; de los cuales 2 canales, fundamental y suplementario, son para transporte de los datos de usuario. Un canal dedicado al control, dentro de una trama de 5 o 20 ms. Un canal piloto se usa como referencia para la detección coherente de la señal.

El canal fundamental conduce voz, señalización y una baja tasa de datos. Básicamente, éste canal opera con un FER de alrededor de un 1%. El canal fundamental soporta velocidades de 9.6 Kbps y 14,4 Kbps; y opera siempre en modo de soft handoff, lo que reduce los retardos.

El canal suplementario proporciona altas tasas de transferencia de datos. En el enlace reverso puede existir 1 o 2 canales suplementarios.

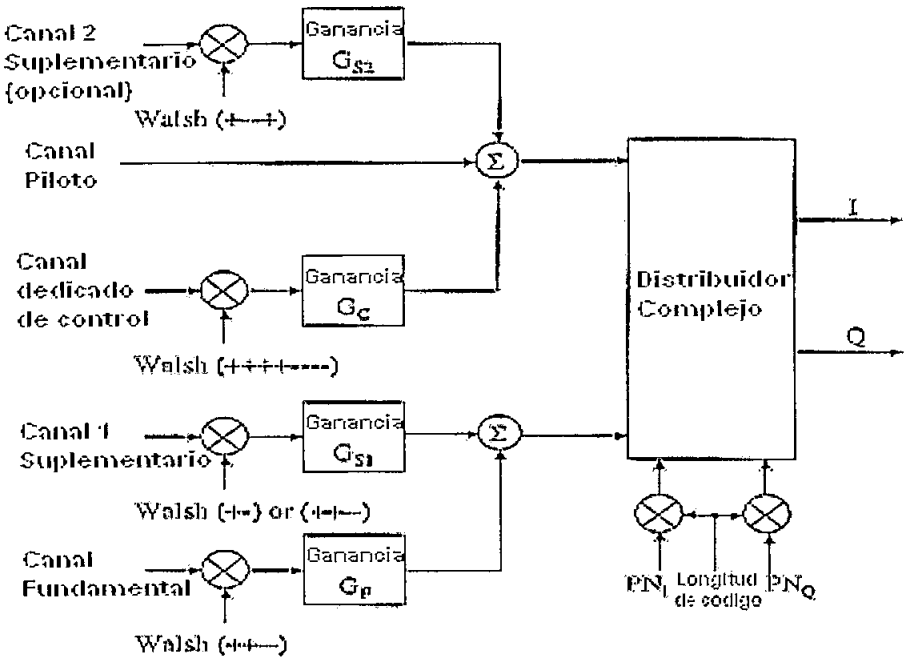


Figura 1.9. Estructura de los canales dedicados en el enlace reverso

1.2.2.3.3. Canales Físicos en el Enlace Directo

El enlace directo tiene 3 diferentes canales dedicados y 3 canales comunes de control. Los canales fundamental y suplementario llevan los datos de usuario y el canal de control lleva los mensajes de control. El canal de control regula los niveles de potencia y la tasa de transferencia de información.

El canal de sincronización es usado por la estación móvil para la sincronización en tiempo con la estación base.

Existen uno o más canales de paging para coordinar el "sleep mode", es decir, cuando no hay llamadas en progreso las terminales apagan su receptor por una porción significativa de tiempo. El canal piloto es usado para la detección coherente de la señal, detección de permanencia en una celda y handoff.

Como ya se mencionó, existen 2 estructuras de canales para el enlace directo, multiportadora y dispersión directa. A continuación se presenta la figura para el caso de enlace directo con multiportadora.

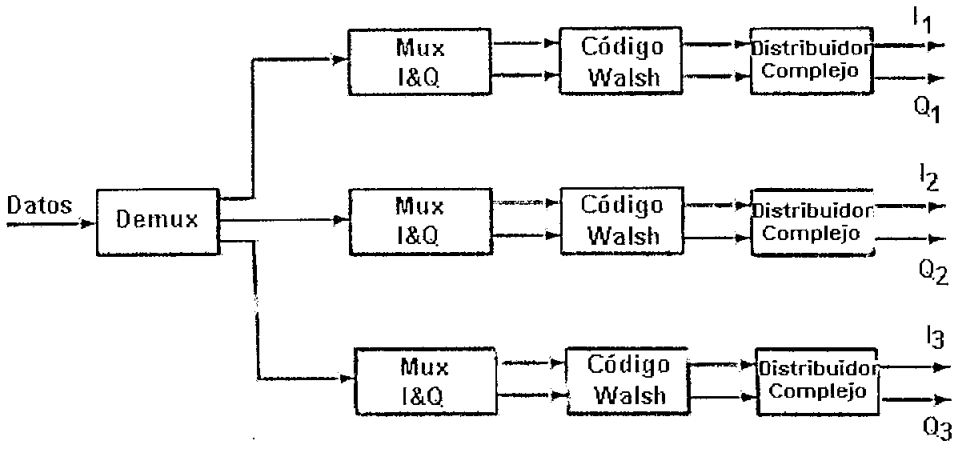


Figura 1.10. Enlace directo con multiportadora

1.2.2.3.4. Caracterización en la Expansión

En el enlace directo, la separación de celdas para CDMA 2000 se realiza entre dos M-secuencias de longitud 2^{15} , una para el *canal I* y otra para el *canal Q*, las que son desplazadas por un "PN – offset" para cada celda. Así, durante el proceso de búsqueda de celda estas secuencias son las que se necesitan. Como existen un número limitado de "PN – offsets", se requiere una planificación ordenada para evitar una confusión de *PNs*.

En el enlace reverso, los terminales de usuario son diferenciados por cambios de fase de M – secuencias de longitud 2^{41}. La separación de canal se caracteriza usando un factor de expansión para las secuencias de "Walsh", las que son ortogonales respecto a otras. El factor de expansión es usado para altas tasas de datos en el canal suplementario.

1.2.2.3.5. Variabilidad a Diferentes Tasas de Transmisión

En el enlace directo, para altas velocidades con diferente calidad de servicio los códigos son multiplexados dentro del canal suplementario. En el enlace reverso, se emplean 1 o 2 canales suplementarios.

La trama de datos de usuario tiene una duración de 20ms, la trama de control de información dura de 5 ms en adelante y 20 ms para las tramas transmitidas en el canal fundamental. En los canales suplementarios para tasas superiores a 14.4 Kbps se utilizan códigos convolucionales.

1.2.2.3.6. Características de Handoff

El handoff es el proceso de pasar una llamada de un canal de voz en una celda a un nuevo canal en otra celda, a medida que el usuario se mueve a través de la red. El manejo de estas transiciones es un factor vital para garantizar la continuidad de las comunicaciones tanto de voz como de imágenes y datos, caso en el que es muy crítica la pérdida de información.
En el soft handoff del canal fundamental, el conjunto activo es el conjunto de estaciones base que transmiten a la estación móvil. Para el canal suplementario, el conjunto activo puede ser un subconjunto del *conjunto activo* perteneciente al canal fundamental. De esta manera se presentan 2 ventajas:
Primero, porque se trasmite desde pocas estaciones base, incrementando la capacidad del enlace directo y para que en condiciones estacionarias la estación base radie niveles de potencia adecuados para el enlace directo.
Segundo, para los paquetes de datos, el proceso de control puede ser sustancialmente simplificado si el canal suplementario no esta en handoff. Además, mientras el canal fundamental esta en soft handoff la estación base se abastece de una señal adecuada para transmitir el canal suplementario cuando las condiciones del canal cambian.

1.3. SERVICIOS DE COMUNICACIÓN PERSONAL (PCS)

1.3.1. DESCRIPCIÓN [7]

La evolución de los sistemas celulares converge con otros sistemas de comunicaciones móviles inalámbricos, en una tendencia mundial, llegando a sistemas como PCS (Servicios de Comunicación Personal) en Estados Unidos o UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) como son llamados en Europa. De otro lado la UIT viene promoviendo el IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales al año 2000); donde los conceptos, características y objetivos de cada uno de estos nuevos sistemas de comunicación son semejantes, estos aspectos son:
Movilidad personal y movilidad de terminal: Ofrecer servicios de comunicación sin importar la localización del usuario. Para esto los sistemas deben tener interfaces de

conexión con redes actuales como RTPC, la red RDSI, redes de telefonía celular y los sistemas móviles basados en satélites y otras redes.

Servicios multimedios de calidad: Ofrecen una amplia gama de servicios multimedios con buena calidad de voz, altas velocidades de datos, vídeo con full movimiento y el equivalente de aquellos servicios en la red RDSI.

- Servicio de Roaming global y automático: No hay limitación a una red.
- *Único número:* Este único número que identifica al usuario servirá de base a la movilidad personal.
- *Alta capacidad:* Técnicas avanzadas que permitan tener sistemas de alta capacidad.
- *Handset universal:* Un único y pequeño terminal manual o handset para acceder a los servicios disponibles.
- *Seguridad:* Mejorar aspectos de autenticación y privacidad, usando mecanismos de encriptación.

Existen diversas definiciones de PCS provenientes de distintas entidades u organizaciones internacionales. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), que es el organismo regulador de las telecomunicaciones en Estados Unidos, define PCS como "Un sistema por el cual cada usuario puede intercambiar información con alguien a cualquier hora, en cualquier lugar, a través de algún tipo de dispositivo y usando un único número". Por otro lado, la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA), lo define como "Un conjunto de capacidades que permiten algunas combinaciones de servicios de movilidad terminal y movilidad personal". El Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI), por su parte, define PCS como "Un conjunto de capacidades que permiten alguna combinación de movilidad terminal, movilidad personal y manejo del perfil del servicio". De forma análoga el mismo concepto para lo que en síntesis está siendo desarrollado como *sistemas inalámbricos de tercera generación*, es definido en Europa como UMTS.

Las definiciones realizadas convergen hacia el mismo concepto, cuyas características más relevantes son la integración de la radiolocalización, la telefonía móvil y la telefonía local inalámbrica dentro de una nueva generación de telefonía celular digital, utilización de un único terminal, un único número de identificación de usuario, facilidades de interconexión de los usuarios tanto a la red pública como a la red inalámbrica sin limitaciones de lugar u hora para la utilización de cualquier servicio de comunicaciones.

De acuerdo con la banda de operación y la cantidad de espectro asignado a cada licencia de operación, los PCS se clasifican en dos grandes grupos:

- PCS Banda Estrecha, que operan en la banda de 900 MHz y utilizan 50 KHz por licencia, y
- PCS Banda Ancha, que operan en la banda de 1900 MHz y son asignados 30 MHz por licencia.

El PCS Banda estrecha incluye todos los servicios basados en texto, es decir, todos los tipos de paging convencional (buscapersonas), los cuales representan la mensajería en tiempo no real. Sin embargo, los PCS Banda estrecha pueden ser utilizados para proveer nuevos servicios tales como mensajes de voz y reconocimiento bidireccional, así como también para el desarrollo de sistemas avanzados de paging.

Los servicios PCS Banda Ancha incluyen telefonía digital celular y telefonía básica inalámbrica, es decir, servicios de comunicación en tiempo real. Pueden ser usados en el desarrollo de servicios telefónicos inalámbricos más avanzados que permiten ubicar al suscriptor en cualquier sitio dado. Su utilidad es proveer una variedad de servicios móviles incluyendo una familia entera de nuevos dispositivos de comunicación, entre ellos teléfonos portátiles muy pequeños, livianos y multifunción, facsímiles portátiles y dispositivos con capacidades bidireccionales de datos. Adicionalmente, los PCS Banda Ancha tienen la capacidad de interacción con otras redes telefónicas, así como también con asistentes digitales personales, permitiendo a los suscriptores enviar y recibir datos y/o mensajes de video en forma inalámbrica.

1.3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Técnicamente, la mayor diferencia es la frecuencia de operación: 800 MHz para la telefonía celular, y 1.900 MHz para PCS. Adicionalmente, los PCS utilizan celdas más pequeñas que la tecnología celular, lo cual exige más antenas para cubrir un área geográfica, pero simultáneamente ofrecen una banda más ancha que permite la transmisión de un mayor volumen de datos en menor tiempo.

Desde el punto de vista de los usuarios o de los servicios, tanto los celulares como los PCS permiten acceder a servicios de voz, datos, imágenes y video (aunque el video no es

soportado hoy por los operadores celulares). Sin embargo, debido a que la tecnología de los PCS es más avanzada, maneja un mayor ancho de banda y por lo tanto soporta mayor velocidad de transmisión, va a permitir servicios de alta calidad integrada para audio, datos y multimedios, es decir que los usuarios podrán tener acceso a la Internet a mayor velocidad, con la posibilidad de ver videos o imágenes en tiempo real con aplicaciones orientadas a las necesidades particulares de grupos comunes de usuarios.

Otra de las grandes ventajas que ofrecen las nuevas redes PCS es la posibilidad de roaming internacional, es decir, viajar a otros países sin tener que informar al operador ni tener un número temporal diferente mientras se viaja.

Los primeros años, los operadores de PCS tendrán como ventaja la calidad y la variedad de servicios, pero su desventaja será el cubrimiento, pues les tomará un buen tiempo alcanzar el de los operadores celulares, tanto en ciudades intermedias como en carreteras y zonas rurales.

Gran parte de las ventajas de los sistemas PCS radica en que están conectados a las redes heterogéneas como a CATV (televisión por cable), RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), la red celular, CDPD (Cellular Digital Packet Data), entre otras, favoreciendo tanto la movilidad de terminal como la movilidad personal.

A continuación se presentan los cuadros comparativos de las ventajas y desventajas de los PCS sobre tecnologías TDMA, GSM, GPRS y EDGE:

TDMA	PCS en CDMA 2000 1x
• Es una evolución de la telefonía celular analógica a un sistema digital optimizando el espectro. • Norma IS - 54; luego evolucionó a IS - 136 en Norte América; en Europa se desarrolló como el estándar GSM. • Permite estructura jerárquica de celdas: macro - micro y pico.	• Mayor capacidad para el manejo de tráfico. • Mejor calidad de voz que el AMPS. • Simples planes de frecuencia. • Mejora la privacidad de la comunicación. • Mejora la cobertura. • Requiere sincronización más precisa entre la estación base y el terminal de abonado. • Vocoders. • No permite estructura jerárquica de celdas. • Necesita control de potencia.

Tabla 1.2. Cuadro de ventajas y desventajas de los PCS sobre TDMA

GSM	PCS en CDMA 2000 1x
• Estándar tecnológico maduro y ampliamente difundido en todo el mundo. • Grandes economías de escala que permiten mejores precios tanto en terminales de abonado como en equipos de infraestructura. • La estandarización en todos los niveles que ha llevado al esquema multivendedor, lo cual evita la dependencia tecnológica hacia un solo proveedor, lo que tiene impactos significativos en los precios. • Roaming internacional automático. • Desarrollo más rápido de servicios.	• Tecnología altamente eficiente en el manejo del espectro radioeléctrico, lo que se refleja en menores requerimientos tanto de equipos y sitios para estaciones base. • Requerimientos para su operación son menores que los de GSM debido a la simplicidad de la red. • Mejor control de potencia, mayor durabilidad de carga en las baterías de los equipos de abonado. • Alto crecimiento en los mercados de Norteamérica y en los países asiáticos. • El sistema no esta estandarizado al 100%, lo cual hace depender del proveedor seleccionado.

Tabla 1.3. Cuadro de ventajas y desventajas de los PCS sobre GSM

GPRS	PCS en CDMA 2000 1x
• Mayor velocidad de datos y movilidad "siempre en línea". • Conexión casi instantánea. • Conexión a una amplia gama de fuentes de datos alrededor del mundo, a través del soporte de múltiples protocolos, incluyendo IP. • Tiene la misma funcionalidad en voz que los sistemas actuales • Permite comunicaciones de voz y datos simultáneos.	• Las "experiencias" en la transmisión de datos para el usuario final promedio de los clientes de GPRS serán muy parecidas a las de aquellos que usan tecnología CDMA2000 1x. • CDMA2000 1x es una tecnología de tercera generación a diferencia de GPRS que es el primer paso en la migración de las redes 2G a los servicios 3G y por ello se considera como la tecnología 2.5G. • CDMA2000 aprovecha las inversiones y

• Es un paso intermedio a la tercera generación de móviles (3G), el famoso UMTS. Hay quien lo llama 2.5G o GSM fase 2+ • El despliegue de GPRS puede servir en parte para actualizar después la red a UMTS.	experiencias existentes en CDMA, ofreciendo una inmejorable relación costo-beneficio.

Tabla 1.4. Cuadro de ventajas y desventajas de los PCS sobre GPRS

EDGE	PCS en CDMA 2000 1x
• EDGE es una solución diseñada específicamente para integrarse al espectro existente, permitiendo así a que los operarios ofrezcan nuevos servicios de 3G. • Los operarios de TDMA pueden escoger desplegar una combinación de GSM, GPRS, EDGE y UMTS (WCDMA) en varias bandas dependiendo de la segmentación específica de sus clientes y las estrategias del espectro. • EDGE ofrece servicios de Internet Móvil con una velocidad en la transmisión de datos superior a la de GPRS. • EDGE y UMTS complementan las tecnologías de 3G; las decisiones de la red de UMTS no se verán afectadas por el cambio de GSM a EDGE y viceversa. • El equipo de EDGE también opera automáticamente en modo de GSM. • EDGE esta diseñada para integrarse a la red de GSM ya existente, lo que reducirá el costo.	• Uno de los triunfos del CDMA2000 es que, al contrario del UMTS (o del W-CDMA, evolución prevista para las redes actuales de GSM/GPRS), el padrón permite que las operadoras ofrezcan 3G sin que precisen adquirir franjas adicionales de espectro. • Al contrario de EDGE, CDMA2000 tiene buena comercialización.

Tabla 1.5. Cuadro de ventajas y desventajas de los PCS sobre EDGE

CAPÍTULO II

2. PROCESO DE DISEÑO PARA LA COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR CON CDMA 2000

2.1. INTRODUCCIÓN

El proceso de diseño de la cobertura para telefonía móvil celular con tecnología CDMA 2000 tiene una secuencia apropiada y fundamentalmente dos formas de diseño: diseño por capacidad y diseño por cobertura.

En el diseño por capacidad es importante tomar en cuenta el número inicial de usuarios potenciales y su crecimiento a corto plazo; de tal manera que se dimensione una capacidad que no sufra modificación en los primeros años.

En el diseño por cobertura, los enlaces directo y reverso tienen su propio mecanismo de mejoramiento en cuanto a su desempeño, en los que se utilizan técnicas de control de potencia para contrarrestar o disminuir fenómenos propios de la propagación de las ondas electromagnéticas. Tanto para el cálculo de la capacidad del enlace directo y reverso se deben tomar en cuenta algunas consideraciones importantes como: interferencia, niveles de potencia, factor de handoff, factor de actividad de voz, aspectos utilizados para calcular la capacidad y obtener el mayor provecho de la red.

Los parámetros de provisionamiento de cada enlace están en función del espacio en el que se aplica, es decir, la información geográfica, demográfica y topográfica de las zonas a proveer el servicio y en relación directa a un modelo de propagación que finalmente dará como resultado el radio de cobertura de las celdas.

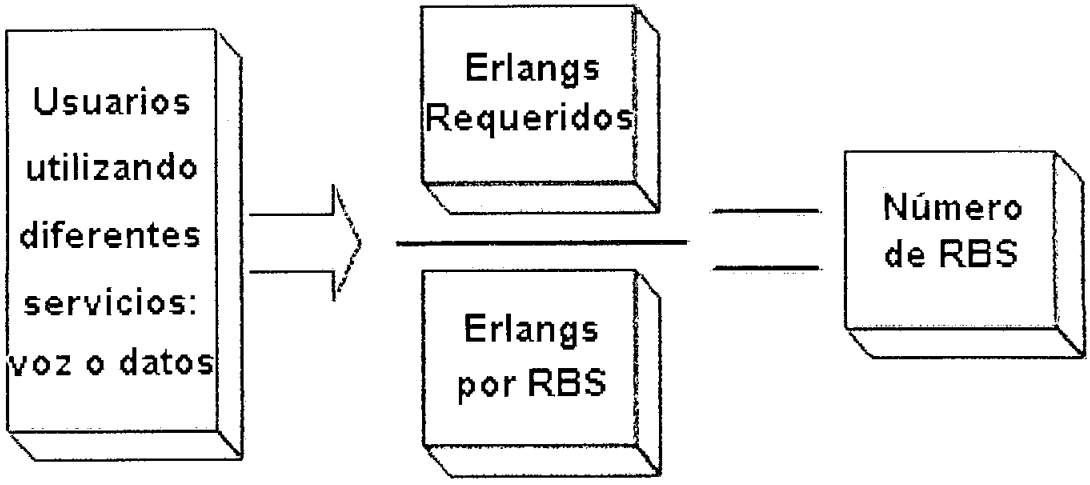
Para añadir una capacidad de datos, existen dos opciones, uno de estos modelos se ajusta a las necesidades de los usuarios de datos y permite dimensionar una capacidad adecuada.

Los sitios, donde se ubicarán las estaciones base, son localidades que deben cumplir con ciertos requisitos para una apropiada implantación de infraestructura.

Por último, la planificación "PN offset planning ", es configurada de tal manera que la red diseñada tenga un desempeño óptimo al brindar el servicio en condiciones de alta

movilidad y handoff, capaz de no causar impactos negativos dentro de la propia red u otras redes ajenas.

2.2. DISEÑO POR CAPACIDAD



2.2.1. OBJETIVOS

- Entender las mejoras de capacidad en CDMA2000.
- Calcular la capacidad para los servicios de voz del enlace reverso.
- Calcular la capacidad para los servicios de voz del enlace directo.
- Estimar la capacidad para los servicios de datos.

2.2.2. DEFINICIÓN DE CAPACIDAD CDMA

La capacidad de los sistemas CDMA depende de la interferencia en el sistema (potencia total recibida en la antena receptora). Para que el sistema entregue la máxima capacidad, se han desarrollado técnicas de control de potencia que permiten que cada unidad móvil transmita a la mínima potencia y además reduzca la interferencia total en el sistema. Controlando la potencia, la capacidad puede ser ajustada dinámicamente, de ahí que la capacidad del sistema CDMA es flexible.

2.2.3. MEJORAS EN LA CAPACIDAD DE CDMA 2000

2.2.3.1. Enlace Directo

La principal limitación, definida en el estándar IS-95-A (y B), es la falta de un mecanismo de control de potencia rápido y de baja latencia.

El mecanismo de control de potencia del enlace directo definido en IS-95, que permite "compartir la potencia" entre los usuarios del enlace directo, ha demostrado ser demasiado lento para adaptar eficazmente al canal las condiciones cambiantes del medio que son un resultado de la movilidad. Por ejemplo, un usuario en un automóvil detenido en un semáforo podría usar tanto como 8db menos de potencia que lo necesario en cuanto el automóvil se ponga en movimiento.

El control de potencia para el enlace directo en IS 2000-1xRTT supera estas limitaciones.

Primero, la latencia se reduce drásticamente. Esto lo realiza la estación móvil (MS) al transmitir ACK por cada trama de voz, por ejemplo cada 20 ms.

Segundo, la estimación que la estación móvil realiza, no es de la tasa de tramas erradas, sino, de la relación Eb/No. Controlando el mínimo nivel de Eb/No, se asegura la potencia óptima compartida por los usuarios. Simulaciones y mediciones de campo demostraron que el mecanismo mejorado de control de potencia directo de IS-2000-1xRTT reduce la potencia promedio transmitida de la estación base por un factor de 2.0 dB o más.

2.2.3.2. Enlace Reverso

IS2000-1xRTT mejora substancialmente el desempeño del enlace reverso, lo que se logra mediante la demodulación coherente de la señal por medio de un canal piloto. La reducción en la relación señal a ruido (SNR) para un cierto FER, es considerable; puede ser de 2.3 dB o más. Con esta modificación se logra un mayor desempeño del enlace reverso.

2.2.4. CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE VOZ EN ENLACE REVERSO

2.2.4.1. Cálculo de la Capacidad

Para aplicar la ecuación de la capacidad, se encuentra el valor necesario para la detección de un bit transmitido sobre el enlace reverso. En sistemas digitales, las señales son señales de energía y por lo tanto el criterio para la detección es Eb/No, donde E_b es la energía por bit e No es la densidad de interferencia total, ambas son medidas en la antena receptora de la estación base. Gracias a que la tecnología del chip mejora la relación Eb/No se reduce, permitiendo a los sistemas CDMA entregar aún más capacidad.

2.2.4.2. Capacidad Máxima (Pole)

El punto máximo (Pole) es el máximo número teórico de usuarios simultáneos por portadora CDMA. El máximo teórico, para encontrar el SNR requerido, se alcanza cuando los móviles incrementan la potencia al infinito debido a otros usuarios en la red y se calcula de la siguiente manera:

$$N = \frac{\frac{W}{R}}{\frac{E_b}{N_o}(1+f)\upsilon} \qquad (2.1)$$

La capacidad máxima (Pole) del enlace reverso se basa en lo siguiente:

- La potencia de todos los móviles se la controla permanentemente, tal que las estaciones móviles se comuniquen con la estación base al mismo nivel de potencia.
- El demodulador en el móvil puede operar en ambiente de interferencia, causada por otros usuarios en el sistema, para lo cual el demodulador debe tener suficiente Eb/No (relación de energía de bit para la densidad de interferencia espectral de potencia). Este valor es normalmente de 6.6 dB para una tasa de 9,600 kbps.
- La transmisión discontinua (DTX), reduce el promedio de potencia de señal de todos los usuarios y por consiguiente la interferencia recibida por cada uno. En la DTX el transmisor es apagado durante los periodos de silencio en la conversación y se considera para determinar el factor de actividad de voz.
- Se usa una antena directiva para incrementar la radiación y decrementar la interferencia. Gs ~ 2.65 para una celda de 3 sectores.

Modificando la ecuación anterior para la capacidad pole y aproximando N-1 a N, se deriva la capacidad del enlace reverso para una celda sectorizada:

$$N \approx \frac{\left(\frac{W}{R}\right)(1-\eta)G_s}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)(1+f)\nu_f} F \qquad (2.2)$$

donde:

W	Ancho de banda del canal	1.2288 MHz
R	Ancho de banda del usuario	14.4 Kbps
ν_f	Factor de actividad de voz	0.4
G_s	Ganancia de sectorización	2.65 para una celda de tres sectores
Eb/No	Energía de bit sobre densidad de ruido	6 dB
η	Densidad de ruido térmico	0.05
f	Factor de Interferencia intercelda	0.55
F	Factor de carga	0.75

Reemplazando en la ecuación 2.2 los valores anteriormente sugeridos, se obtiene un número de N = 65 usuarios por celda por portadora CDMA. Con un GOS del 2%, se obtiene una capacidad de 54.376 Erl/Celda.

Si el espectro entero de 12.5 MHz se la dedica a CDMA, con 300 KHz de banda de guarda, se pueden tener 8 portadoras CDMA. La capacidad total puede entonces ser aproximadamente de 500 usuarios. Este es un incremento de alrededor de 10 veces sobre los sistemas AMPS.

2.2.4.3. Relación Eb/No vs. Rapidez Del Móvil

La relación señal a ruido mejora si los usuarios se desplazan a baja velocidad; *por ejemplo*, peatones que no están experimentando el rápido desvanecimiento causado por el movimiento vehicular como se ve en la Figura 2.1.

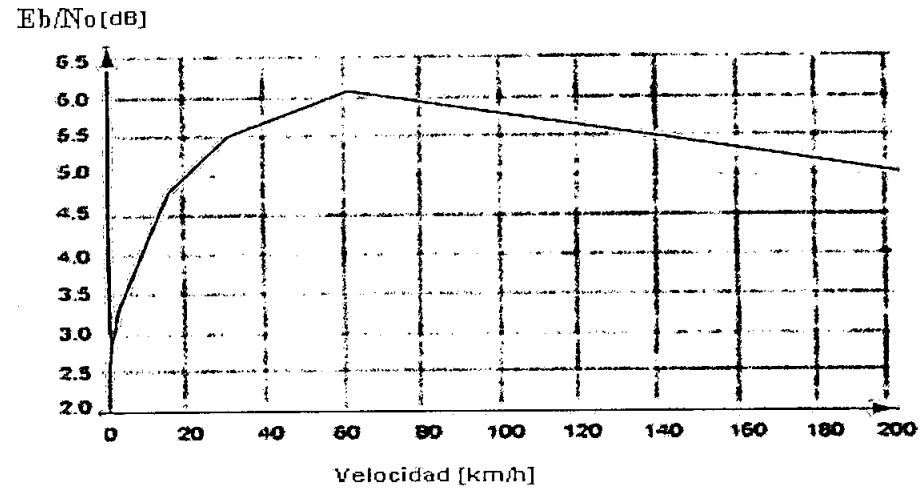


Figura 2.1. Relación Eb/No vs. Rapidez del móvil

La forma de la curva mostrada, se puede explicar del hecho de que a velocidades relativamente bajas, el control de potencia es muy efectivo, contrarrestando el lento desvanecimiento, al contrario de lo que ocurre a altas velocidades, donde el control de potencia no es tan efectivo.

Puesto que la potencia para cada usuario se la controla cuidadosamente con un mínimo valor de señal a ruido, para lograr un cierto FER, los usuarios de baja movilidad producen aproximadamente la mitad de interferencia que la que producen los usuarios de alta movilidad (Eb/No típico para baja movilidad es de 4 a 5 dB).

Esto tiene un efecto beneficioso de incrementar la capacidad del enlace reverso cuando hay una mezcla de usuarios de alta y baja movilidad.

2.2.4.4. Descanso Celular

Es un fenómeno causado por la cantidad de abonados en una celda. Cuando en una celda existe mayor cantidad de abonados, la cobertura se reduce. Se estima que la cobertura de la celda se reduce a un 90% con 20% de la capacidad, y a un 70% con 50% de la capacidad.

2.2.4.5. Efecto de la Interferencia en la Capacidad de una Celda

La capacidad de una celda depende de la interferencia que recibe de otras celdas. El nivel de potencia recibido en un receptor, desde diferentes fuentes, sigue la ley de propagación.

También, la señal decae mucho más rápido dependiendo del terreno y los obstáculos en la trayectoria de propagación.

2.2.5. CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE VOZ EN EL ENLACE DIRECTO

El cálculo de la capacidad del enlace directo es algo similar al del enlace reverso, en el sentido de que por cada móvil se calcula la relación de energía por bit sobre la densidad de interferencia. La naturaleza de la interferencia es diferente porque se considera a los canales piloto, sincronismo y de paging como interferencia en el enlace directo.
Originalmente en el cálculo de la capacidad del sistema CDMA, se asume el enlace reverso como el enlace débil. No obstante, con el sistema CDMA2000, trabajando a valores de Eb/No más bajos, la capacidad del enlace reverso es superior, y algunos resultados y cálculos muestran que el enlace directo es el enlace limitante para el diseño de la capacidad.

2.2.5.1. Cálculo de la Capacidad del Enlace Directo

La capacidad en el enlace directo depende de los canales piloto, sincronismo, paging y de todos los canales de tráfico activos.

Las características del enlace directo son:

- Limitado por la interferencia de otros usuarios
- Se basa en los niveles de potencia de los usuarios
- Expresado como una relación de potencias
- Capacidad (Pole) reducida debido a un factor de soft handoff.

Para realizar el proceso de detección de un bit en la antena de la estación móvil, el valor de *Eb/No* del canal de tráfico del enlace directo, debe ser mayor a 6 dB.

La energía de bit en el móvil se define como:

$$Eb = \frac{P_{tr}}{R} \tag{2.3}$$

Donde, P_{tr} es la potencia del canal de tráfico y R es la tasa de datos del canal de tráfico. La densidad de interferencia de ruido es la suma de todas las otras señales del enlace directo recibidas por el móvil en la misma frecuencia, Estás señales están definidas como P_p, potencia del canal piloto; P_{sy}, potencia del canal de sincronización; P_{pa}, potencia en canales de paging, y NP_{tr}, la potencia de todos los canales de tráfico directo (se aproxima N-1 a N). La potencia total en el enlace directo se llama P_{tot}.

$$\frac{E_b}{N_o} \geq \frac{W}{R} \frac{P_{tr}}{P_p + P_{sy} + P_{pa} + NP_{tr}}$$

$$\frac{\frac{E_b}{N_o}}{\frac{W}{R}} \geq \frac{P_{tr}}{P_p + P_{sy} + P_{pa} + NP_{tr}} = \frac{P_{tr}}{P_{tot}} \qquad (2.4)$$

2.2.5.2. Capacidad Máxima (Pole)

La capacidad (Pole) es la máxima capacidad teórica del enlace directo y puede ser calculada con las siguientes fórmulas:

$$\frac{\frac{E_b}{N_o}}{\frac{W}{R}} = \frac{P_{tr}}{P_{tot}} = \frac{\frac{1}{N}\left[P_{tot} - P_p - P_{sy} - P_{pa}\right]}{P_{tot}} = \frac{1}{N}(1-\eta) \qquad (2.5)$$

Note que la relación de P_{tr} a P_{tot} es la misma que la relación de Eb/No sobre el proceso de ganancia, W/R. Esta relación puede también expresarse como el producto de $1/N$ y $(1-\eta)$, donde N es el número de usuarios activos en el enlace directo y η es el factor de ruido térmico (densidad). Resolviendo esta ecuación para N, obtenemos la capacidad del enlace directo.

$$N = \frac{P_{tot}}{P_{tr}}(1-\eta) \qquad (2.6)$$

2.2.5.3. Tipos de Handoff

Existen diferentes tipos de handoff y se los menciona a continuación:

- *Softer Handoff:* En este tipo de handoff, la estación móvil se comunica con 2 sectores pertenecientes a la misma celda. El área de solapamiento de estos dos sectores es de aproximadamente 22% del área de una celda.
- *Soft Handoff:* En este tipo de handoff, la estación móvil se comunica con 2 o 3 sectores pertenecientes a diferentes celdas. Se la realiza con 2 sectores de diferentes celdas, el área de solapamiento es aproximadamente 21% del área de una celda; pero si se comunica con 3 sectores de 3 distintas celdas, el área de solapamiento es aproximadamente 3.74%.
- *Soft-softer Handoff:* Este tipo de handoff es una mezcla de los dos anteriores. La estación móvil se comunica con 2 sectores de una misma celda y un sector de otra celda. El área de solapamiento es de aproximadamente 9% del área de una celda.

Una variante del Soft-softer Handoff se refiere al solapamiento entre 4 sectores de dos celdas distintas (2 sectores por celda), en donde el área de solapamiento es de aproximadamente 0.12% del área de una celda.

2.2.5.4. Factor de Reducción del Handoff

El factor de reducción del Handoff (HRF) es una medida del número promedio de códigos Walsh, ocupados por una llamada. Esta es una relación del número total de canales de tráfico para el número total de llamadas. El factor de reducción del Handoff por sector está dado por:

$$HRF = {}^{N_{códigos\ Walsh}}\Big/_{N_{llamadas}} \tag{2.7}$$

Donde, el uso efectivo de códigos Walsh por sector se define como el número promedio de códigos Walsh que son utilizados por un sector en cada periodo de muestreo.
El tráfico efectivo transportado por sector se define como el número promedio de llamadas soportadas por el mismo sector durante el mismo periodo de muestreo.

HRF es un valor calculado que toma en cuenta los recursos requeridos debido a los diferentes tipos de handoff.

El factor de reducción de Handoff depende de muchos aspectos, como la distribución geográfica del tráfico; la cobertura celular y porcentaje de áreas solapadas que están definidas como una función de los sistemas soft handoff.

2.2.5.5. Actividad de Voz

La actividad de voz para una conversación normal en lenguaje inglés es cerca del 35%. La actividad de voz depende del lenguaje usado y puede ser superior en diferentes lenguajes.

Este factor está dado por el parámetro "*vf*" y también es parte de los cálculos de la capacidad del enlace directo al considerar servicios de voz, no de datos.

Como ya lo mencionamos anteriormente, la capacidad del enlace directo depende de los canales piloto, sincronismo, paging, todos los códigos de canales de tráfico directo soportados, y también de un factor de reducción que considera el uso múltiple del enlace para un sólo servicio de comunicación. Puede mostrarse que la capacidad del enlace directo (solamente para redes de voz) de un canal CDMA dado es:

$$N = \frac{P_{tot}}{HRF \cdot P_{tr} \cdot v_f}(1-\eta) \tag{2.8}$$

ó también:

$$N = \frac{\frac{W}{R}}{HRF \cdot \frac{Eb}{No} \cdot v_f}(1-\eta) \tag{2.9}$$

2.2.6. TEORÍA DEL ENLACE

2.2.6.1. Sistemas de Radio Enlace

Para cualquier sistema de comunicación multiusuario, la medida de su utilidad económica no es el número máximo de usuarios que pueden ser atendidos a la vez, sino la capacidad máxima que puede ser soportada con una cierta calidad y con disponibilidad de servicios,

como una medida de probabilidad de bloqueo (la probabilidad de que un nuevo usuario encuentre todos los canales llenos y por tanto se le niegue el servicio, generalmente acompañado por una señal de ocupado).

Principalmente hay dos clases de sistemas de radio enlace, llamadas perdidas anuladas (LLC-Lost Calls Cleared) y llamadas perdidas retardadas (LCD- Lost Calls Delayed).

En LCC, no se producen encolamientos. Cuando todos los enlaces están llenos y una nueva llamada llega, la llamada es bloqueada y el usuario puede intentar una nueva llamada. Si hay un canal disponible, la llamada se preparará con un mínimo de retardo. Se asume que el número de usuarios es infinito y que los arribos de llamadas del sistema siguen una distribución de Poisson. También se asume que el tiempo de distribución entre las llamadas fallidas, para un usuario, es un proceso aleatorio que sigue una distribución de Poisson. El grado de servicio (GOS)[a] para este sistema se deduce más adelante y se denota por la fórmula B de Erlang.

En LCD, se producen encolamientos para las llamadas que llegan al enlace. Esto es, si no hay enlaces disponibles, la llamada se mantiene en cola hasta que un enlace esté disponible. La suposición básica para este sistema (número de usuarios, modelos de llegada, etc.) es la misma que para LCC.

El GOS para este tipo de sistemas de enlaces está dado por la fórmula C de Erlang.

2.2.6.2. Definición de Erlang

Unidad estándar para la medida del tráfico telefónico. Tráfico, es la cantidad de ocupaciones que en promedio existen simultáneamente; o sea, la cantidad de circuitos o de líneas ocupadas en un intervalo de tiempo y se expresa en Erlang. Un circuito ocupado permanentemente durante una hora, cursa un tráfico de 1 Erlang. Si un canal se encuentra en uso constante durante 1 hora, entonces se genera un tráfico con la intensidad de 1 Erlang. Una llamada que dura una hora generará el mismo volumen de tráfico que 20 llamadas de 3 minutos de duración cada una sobre el mismo periodo de tiempo. El tiempo típico de duración de llamada para un subscriptor es de 120 a 180 segundos. La tasa de llamada promedio para usuarios de celulares está entre 0.01 y 0.045 Erlang/subscriptor.

---

[a] Es una medida de la capacidad del usuario para acceder al sistema durante la hora pico.

Mientras que las compañías telefónicas usan un GOS típico de 0.002 a 0.005, los proveedores de servicios celulares diseñan su sistema para un GOS de 0.02 a 0.05 para enlaces RBS y 0.001 a0.002 para el enlace BCS a PSTN.

Para calcular el tráfico total del sistema, se multiplica la tasa de llamadas promedio por el número de subscriptores. Se debe notar que la máxima carga celular generalmente es diferente que la máxima para la red telefónica pública conmutada, qué normalmente ocurre tarde, en la mañana o en principio de la tarde. La carga máxima celular ocurre durante tiempos de alta movilidad.

2.2.6.3. Cálculo de la Carga del Sistema (Voz)

Finalmente, para calcular la carga ofrecida al sistema para servicios de voz, se calcula el *tráfico promedio por subscriptor A* sobre un periodo de una hora.

$$A(Erlang) = \frac{n * T}{3600} \tag{2.10}$$

Luego, se obtiene el *tráfico total* A_T, al multiplicar el número total de subscriptores potenciales N por el tráfico promedio por subscriptor.

$$A_T(Erlang) = A \cdot N \tag{2.11}$$

Del anterior análisis de capacidad en ambos enlaces, el mínimo valor entre capacidades directa y reversa se toma como el tráfico promedio por sector por portadora A_S a la hora cargada.

La última fase es calcular el *número de sectores* N_S necesarios.

$$N_S = A_T / A_S \tag{2.12}$$

2.2.7. MECANISMOS DE BLOQUEO EN CDMA

En un sistema CDMA, el bloqueo puede ocurrir por algunas razones. La siguiente es una lista de los mecanismos de bloqueo.

- *Bloqueo basado en la capacidad del enlace directo.*- En este esquema, se bloquean las llamadas cuando la capacidad restante (potencia HPA) disponible en el enlace directo cae por debajo de un límite aceptable.

- *Bloqueo basado en la capacidad del enlace reverso.*- En este esquema, se bloquean las llamadas cuando la capacidad restante (aumento del nivel de ruido térmico) cae por debajo de un límite aceptable.

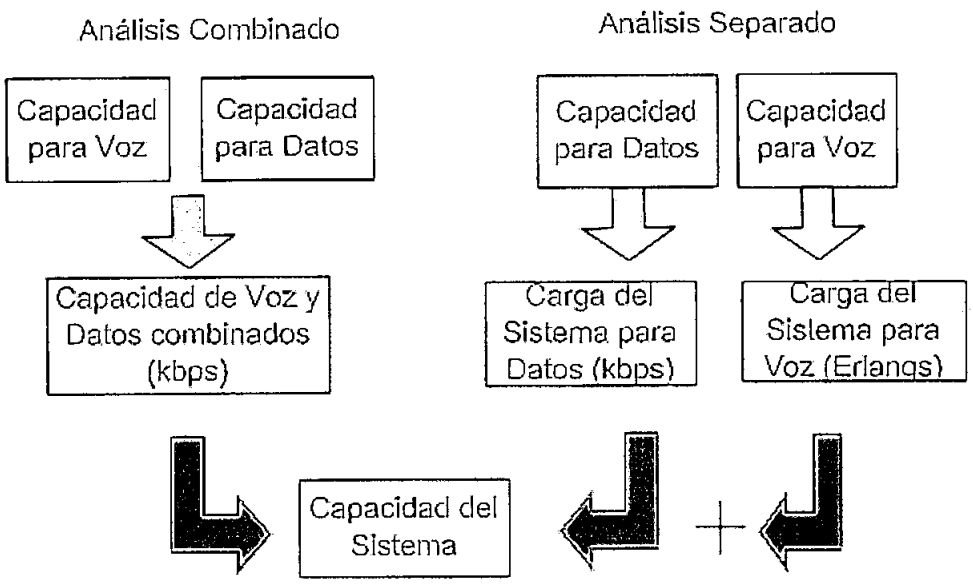
Generalmente en CDMA, el bloqueo puede tener lugar cuando el nivel de interferencia, debido principalmente a la actividad de otros usuarios, se extiende a un nivel predeterminado sobre el nivel de ruido de fondo, principalmente térmico. Esta relación es típicamente de 10 dBs. Aunque el umbral teóricamente puede ser un número arbitrariamente grande, los niveles que excedan los 10 dBs pueden causar inestabilidad en el sistema.

- *Bloqueo basado en la utilización del código de canal.*- En este esquema, las llamadas son bloqueadas cuando el número restante de códigos de canal inactivos en el enlace directo decrece.

- *Bloqueo basado en la utilización de elementos de canal.*- En este esquema, las llamadas son bloqueadas cuando el número restante de elementos de canales inactivos decaen bajo el límite permisible.

2.2.8. CAPACIDAD PARA DATOS

Los dos métodos que se mencionen a continuación son aplicables para el proceso de diseño por capacidad. El diseñador o el operador escogerá uno de ellos según su necesidad.



2.2.8.1. Análisis Combinado

Es un método que combina todos los diferentes tipos de aplicaciones (voz y datos) para representarlos como un único throughput referencial (throughput de datos), considerado para todas las aplicaciones juntas. Esta es una nueva técnica que supone el comportamiento de datos del subscriptor y uso de servicios.

La aproximación tradicional de expresar la capacidad como un número Erlang, no es totalmente aplicable aquí, debido a aplicaciones de conmutación de paquetes, de aquí que el tráfico se expresa en términos de bits transportados en la hora pico (en enlaces directo y reverso). Similarmente la capacidad está expresada en términos de bits por segundo.

Las aplicaciones de circuitos conmutados son tratadas ligeramente diferentes. La meta es caracterizar la aplicación del circuito conmutado para llegar al mismo "Flujo de Datos Puros" que en las aplicaciones de paquetes de datos. Esto nos permitirá combinar el circuito conmutado y el tráfico de bits de paquetes conmutados.

La voz y otras aplicaciones de circuitos conmutados son en tiempo real. De esta manera tienen severos retardos de contención y por lo tanto tienen un factor de eficiencia relativamente bajo.

El tradicional concepto de Grado de Servicio (o probabilidad de bloqueo) se traduce ahora en un factor de eficiencia.

Considerando el modelo B de Erlang y un GOS del 2%, 36 enlaces dan una capacidad de Erlang de solamente 27 Erlangs. Esto quiere decir un factor de eficiencia de aproximadamente 27/36=75%, que es una nueva aproximación de ingeniería de tráfico y ha sido creada por este modelo para combinar las aplicaciones de voz y datos. El throughput de voz al 100% de utilización es el número de enlaces multiplicado por el throughput promedio por enlace (36*43%*9.6kbps) ~ 150 kbps, donde el factor de actividad de voz es 43%. El throughput de voz al 2% de GOS es aproximadamente de (27*43%*9.6kbps) ~ 113 kbps (75%).

Se normaliza esto para el throughput de paquetes de datos al 100% de utilización y para conseguir un factor de actividad de voz del 43%=113/263.

Para calcular la eficiencia de las llamadas de voz, se ha considerado la capacidad completa del interfaz aire, lo que significa que llamadas de voz obtienen una prioridad sobre llamadas de datos en admisión de llamadas.

2.2.8.2. Análisis Separado

El análisis separado simplifica el análisis anterior a un modelo de datos, aún suponiendo el comportamiento y uso por parte del subscriptor, pero solamente para aplicaciones de datos. Desde este punto de vista, se calcula el número de sectores para datos, asumiendo que un porcentaje de la población usará un determinado tipo de aplicación, y se suma al número de sectores para voz previamente calculado, usando las aproximaciones de Erlang.

En nuestro país, los usuarios de datos son en promedio del 1% al 3% de los abonados de una red diseñada para voz, debido fundamentalmente a que las aplicaciones que se mencionarán a continuación, no se encuentran totalmente explotadas.

2.2.8.3. Aplicaciones para el Servicio de Datos

Un abonado puede acceder a aplicaciones de datos mediante su propio móvil o a través de una computadora. Estas aplicaciones son:

- Web App w/images on
- Web App w/images off

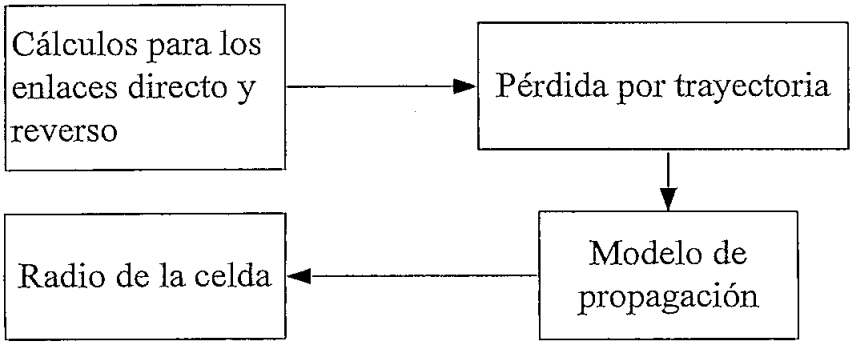
- Web App minibrowser
- Email minibrowser
- Email Laptop
- Internet Laptop

La penetración de las aplicaciones de datos dependen de los siguientes tres aspectos:

- Porcentaje de abonados con capacidad de acceder al servicio de datos
- Calidad de las aplicaciones para datos
- Índice de crecimiento

El costo de acceso a una aplicación para datos es mayor que la de voz. Un abonado postpago tiene mayor posibilidad de acceder a los servicios de datos porque puede incluirlo en su plan; pero en general el número de usuarios postpago es menor que los usuarios prepago; consecuentemente no se genera una cantidad representativa de tráfico de datos.
Un abonado prepago utiliza con más frecuencia el servicio de mensajería SMS y en menor grado el servicio de voz; al contrario de lo que sucede con un abonado postpago que utiliza frecuentemente el servicio de voz que el de mensajes de texto.
El Análisis Separado es la opción más apropiada en un país donde se prioriza el servicio de voz, porque la sociedad se inclina a este tipo de servicio. Por lo tanto, la capacidad para datos se la considera como una etapa complementaria y futura.

2.3. DISEÑO POR COBERTURA



2.3.1. OBJETIVOS:

- Entender el proceso de diseño por cobertura
- Cálculo de los enlaces directo y reverso
- Definir el modelo de propagación
- Cálculo del radio de la celda

2.3.2. PROCESO DE DISEÑO POR COBERTURA

2.3.3. METAS DEL PROYECTO Y REQUERIMIENTOS

Se especifican las metas y requerimientos del proyecto conforme a:

- *Metas de cobertura*
  - Condiciones iniciales de la cobertura
  - Expansión de la cobertura
- *Metas de la capacidad*

- Uso de los suscriptores iniciales y durante las fases de desarrollo

- *Calidad de cobertura*
  - Probabilidad de cobertura al límite de la celda
- *Cobertura especifica*
  - Ciudades / pueblos que serán cubiertas en cada etapa del proyecto
  - Carreteras que serán cubiertas de acuerdo a las necesidades
  - Zonas con edificios que serán cubiertas usando antenas distribuidas
- *Requerimientos de capacidad*
  - Proyección de crecimiento de suscriptores

2.3.4. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La información necesaria para realizar el análisis de radio frecuencia es:

- *Altitud.*- Condición de altura del sector a servir.
- *Uso de las tierras.*- Información que determina en que están utilizadas las tierras (edificaciones, áreas verdes, áreas mixtas, etc.)
- *Demografía.*- El número de habitantes en el área a servir; información útil para determinar el grado de penetración y el patrón de llamada. La intensidad de tráfico por kilómetro cuadrado sirve para determinar cuantas llamadas se efectúan por área de servicio. Esta distribución de usuarios raramente es uniforme pero podría ser constante en un área dada por un cierto tiempo.

2.3.5. CÁLCULO DE LOS ENLACES DIRECTO Y REVERSO

2.3.5.1. Provisión de los Enlaces

El provisionamiento de los enlaces es el cálculo de los niveles de potencia, ganancias y pérdidas para una celda en particular. Estos parámetros incluyen, frecuencia de operación, niveles de potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, figura de ruido, pérdidas por arquitectura, tales como: pérdidas en cables y equipos, densidad de usuarios y modelo de propagación usado. Como resultado de estos cálculos se obtienen las Máximas Pérdidas Permitidas por Trayectoria (MPPT) para una cierta celda. La información de cálculos

recolectada es importante para establecer el radio de la celda y al mismo tiempo determinar el número de celdas necesarias para un área de cobertura específica. Los cálculos mencionados son realizados para el enlace directo y reverso. Ambos enlaces deben ser balanceados.

En resumen tenemos:

- El provisionamiento de los enlaces es la sumatoria total de las pérdidas y ganancias en el enlace de transmisión.
- Garantizar la detección de potencia en el receptor:

$$(P_{tr})_{dBm} + (\text{ganancias})_{dB} - (\text{pérdidas})_{dB} > (\text{Potencia mínima requerida para la detección en el receptor})_{dBm}$$

- La provisión del enlace identifica las máximas pérdidas por trayectoria
- Determinar un adecuado radio de la celda
- Los cálculos se realizan para ambos enlaces, directo y reverso
- Los dos enlaces deben ser balanceados

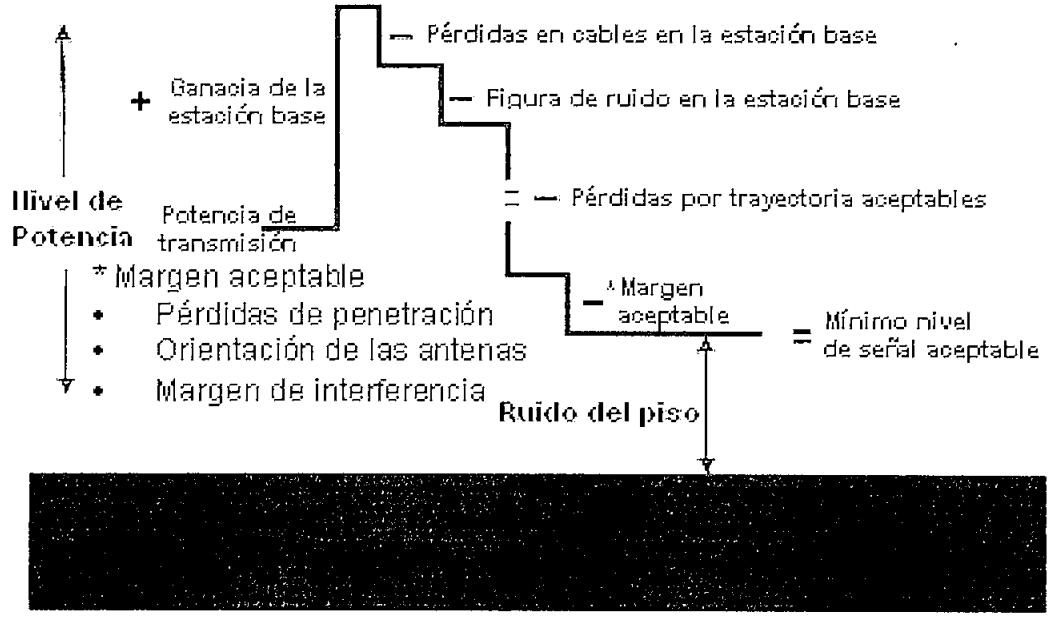


Figura 2.2. Provisión del enlace

EJEMPLO:

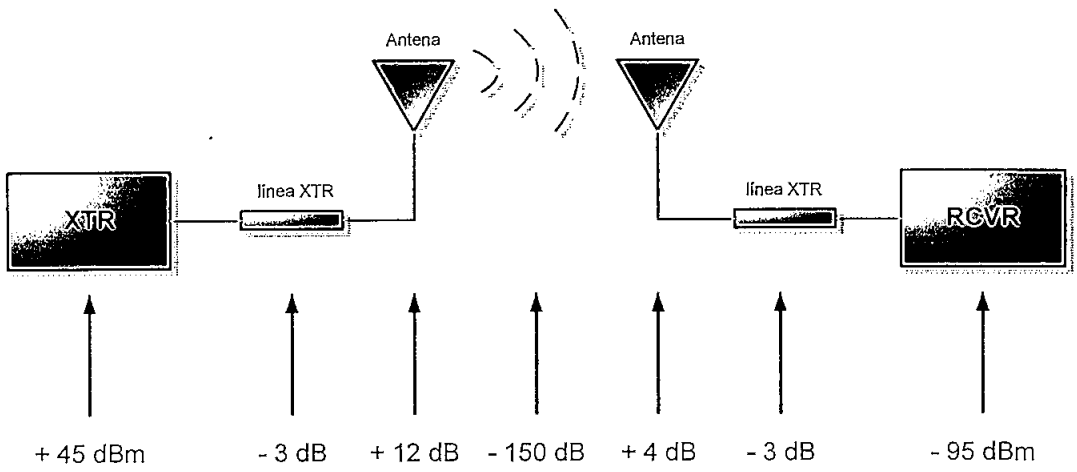


Figura 2.3. Cálculo del provisionamiento de enlace

Este ejemplo muestra un simple cálculo del provisionamiento de enlace. El nivel de potencia en el receptor es de – 95 dBm, nivel que puede ser suficiente para detectar la señal. Teniendo en cuenta que la capacidad de detección depende del nivel de señal a ruido (E_b / No en los sistemas digitales) y no de su propio nivel de señal.

Para calcular las pérdidas por trayectoria se debe usar un modelo de enlace apropiado. Modelo que debe ser seleccionado de acuerdo a la geografía, pérdida, y otros factores.

2.3.5.2. Cada Enlace Tiene su Propia Provisión

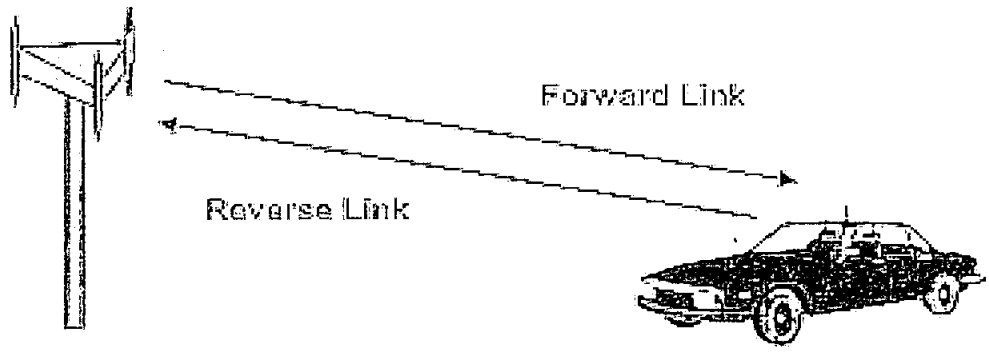


Figura 2.4. Enlaces balanceados

Típicamente en un ambiente móvil, el enlace reverso es el que determina el área de cobertura de la celda y limita la capacidad de potencia de las estaciones móviles. Por

mencionar, una clase V, telefonía CDMA PCS tiene solamente un máximo de potencia de 163 mW.

Dependiendo de la tecnología, velocidad de transmisión, y potencia de amplificación, el enlace directo determina la capacidad de la celda.

2.3.5.3. Factores del Provisionamiento del Enlace

Varios parámetros intervienen en la transmisión: niveles de potencia, velocidad de datos, el ambiente, tecnología y equipo usado (fabricante) que influyen en la provisión del enlace. Se puede mencionar los siguientes:

- *Especificaciones Técnicas*
  - Máxima potencia de transmisión en condiciones móviles
  - Velocidad de transmisión de datos

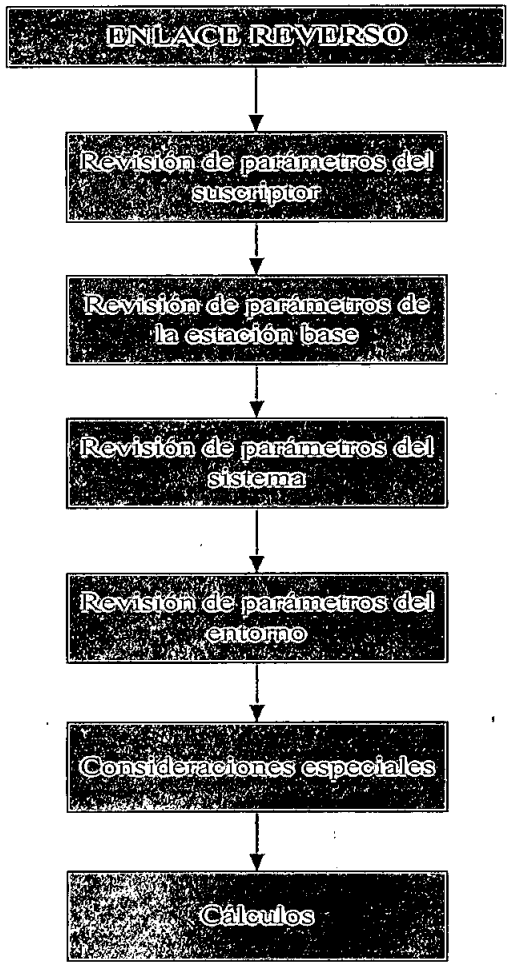
- *Especificaciones de red*
  - Topografía de la región
  - Densidad de edificaciones
  - Densidad poblacional
  - Altura de las antenas de la estación base
  - Margen de seguridad del enlace

- *Especificaciones de la tecnología*
  - Mínimo nivel de señal aceptable (S/N, Ec/No, Eb/No)
  - Ganancia de soft hand- off

- *Especificaciones del fabricante*
  - Figura de ruido del receptor
  - Ganancia de antenas
  - Máxima potencia de salida de la estación base

2.3.5.4. El Enlace Reverso

2.3.5.4.1. Proceso de Planificación



2.3.5.4.2. Parámetros del suscriptor

- *Potencia de transmisión de la estación móvil*
  Máxima potencia de 200 mW o 23 dBm.
- *Pérdidas por cables en la estación móvil*
  Es de 0 dB.
- *Ganancia de la antena en la estación móvil*
  Normalmente entre 0 – 2.1 dBi. En la planificación se asume un valor de 0 dBi

- *Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE)*

  Suma logarítmica de todas las ganancias y pérdidas asociadas con la estación móvil. Es típicamente igual a la potencia de transmisión isotrópica de la antena de la estación móvil.

2.3.5.4.3. Parámetros de la estación base

- *Ganancia de la antena*

  Definida como la densidad de energía radiada por la antena en una cierta dirección con respecto a una antena isotrópica.

  La ganancia varía dependiendo del tipo de antena usada. Típicamente los valores están entre 5 y 15 dBi.
- *Pérdidas por cables en la estación base*

  Los valores dependen del tipo de cable (manufactura del cable) y la longitud empleada así como de la frecuencia de operación.
- *Sensibilidad en el receptor de la estación base*

  Puede ser calculada con la ecuación de figura de ruido y depende de las especificaciones del fabricante del equipo. No es un parámetro estándar.

  Calculada en base del máximo Eb/No (Eb/No + desviación estándar) para el peor caso de análisis.

  La sensibilidad del receptor puede ser calculada de la siguiente manera (todos los valores están en dB.)

$$R_{Sen} = S_{In} + NF + \left(\frac{S}{N}\right)_{OUT} \tag{2.13}$$

S_{in} es la mínima potencia requerida para la detección de la señal.

Como el ruido térmico es parte de la circuitería del equipo, también debe ser considerado, la ecuación 2.13 cambia.

$$R_{Sen} = 10\log(KTW) + NF + \left(\frac{S}{N}\right)_{OUT} \tag{2.14}$$

Para un sistema digital la relación señal a ruido es sustituida por la correspondiente forma de Eb/No, la ecuación llega a:

$$R_{Sen} = 10\log(KTW) + NF + \left(\frac{EbR}{NoW}\right)_{OUT} \tag{2.15}$$

Donde R es la tasa de bit del canal y W es el ancho de banda de transmisión, finalmente la ecuación queda así:

$$\boxed{R_{Sen} = 10\log(KT) + (NF)_{dB} + \left(\frac{Eb}{No} + 10\log(R)\right)_{dBo}} \tag{2.16}$$

La Figura de Ruido (NF), define el nivel de señal a ruido a la entrada respecto al nivel de señal a ruido en la salida.

$$NF = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{in}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{out}} \tag{2.17}$$

El valor Eb/No cambia en ambientes diferentes. Para CDMA 2000, en aplicaciones móviles, el valor promedio es cercano a 4.7 dB.

2.3.5.4.4. Parámetros del Sistema

Existen pocos parámetros considerados como parámetros CDMA, así tenemos:

- Velocidad de Chip de 1.2288 Mcps.
- Velocidad de Datos, asumiendo una alta velocidad de datos en un canal de voz (9600 o 14400 bps).
- Ganancia de Soft Handoff

  El desvanecimiento se toma como una distribución normal logarítmica y una desviación estándar (s), típicamente esta en el orden de 4 a 12 dB. Los usuarios móviles tienden a altas variaciones de desvanecimiento en comparación con usuarios fijos o con

poca movilidad, entonces para usuarios móviles la desviación estándar considerada es de 8 dB.

Con CDMA, el soft handoff proporciona una forma de macro diversidad que reduce los márgenes de desvanecimiento atribuidos a una celda. La ganancia de soft handoff depende de la correlación entre las trayectorias que parten de una celda. En general, debe existir un grado de correlación. Los valores asociados con el margen de desvanecimiento se exponen en la Tabla 2.1 y se plantea el siguiente escenario de soft handoff:

- La movilidad reduce la potencia de transmisión
- Los obstáculos reducen el límite de la celda
- Con 10% de obstáculos (90% de confianza al límite celular)
- Con 50% de correlación de desvanecimiento, la ganancia es de 4.1 dB.

Confianza al límite celular	Sigma	Margen de Desvanecimiento	Ganancia SHO Correlación 0%	Ganancia SHO Correlación 50%
75%	4	2.7	2.7	2.0
75%	6	4.0	4.0	2.8
75%	8	5.4	5.4	3.7
75%	10	6.7	6.7	4.7
90%	4	5.1	3.2	2.2
90%	6	7.7	4.8	3.1
90%	8	10.3	6.4	4.1
90%	10	12.8	8.0	5.1

Tabla 2.1. Ganancia Soft Handoff

2.3.5.4.5. Parámetros del Entorno

- *Pérdida por absorción*

  Es el acumulamiento de pérdidas por distorsión, como resultado de la interacción de los usuarios. Este parámetro varía entre 2 y 6 dB, se asume un valor de 3 dB para propósitos de diseño.

- *Pérdidas por penetración*

  Es el acumulamiento de pérdidas debido a los obstáculos, como, autos, edificios, vegetación. La pérdida de penetración por vegetación, varía con la frecuencia. Para 1900 Mhz el diseño debe tener altos niveles de pérdida de penetración porque las longitudes de onda son cortas. Los valores de pérdida por penetración varían de acuerdo al ambiente y la Tabla 2.2 muestra los valores típicos de pérdidas para las bandas de 800 y 1900 MHz.

Condición	Celular (800 MHz)	PCS (1900 MHz)
Urbano denso	20 dB	22 dB
Urbano	15 dB	18 dB
Suburbano	10 dB	12 dB
Rural	10 dB	12 dB

Tabla 2.2. Pérdidas por penetración

- *Margen de desvanecimiento*

  Es el resultado de la variación de amplitud de la señal en el tiempo.

- *Confiabilidad de cobertura celular*

  En el diseño del área de cobertura, no se puede garantizar un enlace perfecto para las estaciones móviles dentro de una celda, es difícil para las estaciones móviles que están al borde de la celda o en una sombra de cobertura. Los datos estadísticos son empleados para asegurar que la mayoría de usuarios (90% de usuarios) tengan cobertura todo el tiempo.

2.3.5.4.6. Provisión del Enlace Reverso

Parámetros	Origen	Valor
MS TX PO (Watts)	Entrada	0.2
MS TX PO (dBm)	Cálculo	23.0
MS pérdida de combiner (dB)	Entrada	0.0
MS pérdida por cable (dB)	Entrada	0.0

MS ganancia de antena (dBi)	Entrada	0.0
PIRE (Watts)	Cálculo	0.2
PIRE (dBm)	Cálculo	23.0
Body loss (dB)	Entrada	-3.0
Pérdidas por penetración (dB)	Entrada	0.0
Confiabilidad cobertura celular	Entrada	**90%**
Desviación logarítmica estándar de sombra de cobertura (dB)	Entrada	**8.0**
Margen de desvanecimiento (dB)	Cálculo	**-10.3**
BS ganancia de antena (dBi)	Entrada	15.0
BS RX pérdida por cable (dB)	Entrada	-2.98
Ganancia de soft handoff CDMA (dB)	Entrada	4.1
Efectos de carga de tráfico (dB)	Cálculo	-3.1
BS RX Sensibilidad (dBm)	Entrada	-126
Máximas Pérdidas Permitidas por Trayectoria (dB)	Cálculo	151.82
Nivel de Eb/No (dB)	Entrada	4.7

Tabla 2.3. Resultados del análisis del enlace reverso

Ruido térmico T, K°	290
Constante de Boltzman	1.38E-23
Densidad total de ruido espectral, kT (dBm/Hz)	-174
Velocidad de chip (Mcps)	1.2288
Velocidad de datos (bps)	9600
Carga por celda	50.98%
Factor de actividad de voz	40%
Factor de carga	65%
Figura de ruido (dB)	5.0

Tabla 2.4. Parámetros Asumidos y Valores de Constantes

El provisionamiento del enlace reverso define el canal entre la estación móvil y la estación base receptora.

Los resultados de la provisión del enlace reverso son las Máximas Pérdidas Permitidas por Trayectoria (MPPT) que establecen la cobertura de la celda CDMA.

$$R_{Sens} = PIRE_{MS} - MPPT + G_{ABS} - L_{Cable} - L_{Penetración} - L_{Fade} + G_{SHO} - L_{Body} \quad (2.18)$$

$$MPPT = PIRE_{MS} - R_{Sens} + G_{ABS} - L_{Cable} - L_{Penetración} - L_{Fade} + G_{SHO} - L_{Body}$$

2.3.5.5. El Enlace Directo

Para el enlace directo también se deben determinar las Máximas Pérdidas Permitidas por Trayectoria, importante para establecer el borde confiable de celda.

Los cálculos están enfocados a la estación base empleando parámetros como el PIRE, parámetros de recepción telefónica y márgenes de acuerdo a las decisiones de diseño.

2.3.5.5.1. Canales en el Enlace Directo

- *Canal Piloto*

  Usado por todas la estaciones receptoras en la demodulación coherente de señal, detección de permanencia en una celda y handoff. Es transmitido con un alto nivel de potencia en relación a los otros canales.
- *Canal de Sincronismo*

  Usado solamente durante la adquisición de fase, adecuando los parámetros del sistema, tales como: sincronización y la tasa de transmisión del canal de paging.
- *Canal de Paging*

  Usado para llevar la información del sistema, como: parámetros de handoff, y parámetros de registro.
- *Canal de Tráfico*

  Puede ser fundamental y/o suplementario y son asignados a cada llamada. La transmisión de datos cambia de acuerdo al factor de voz atribuido y a los servicios opcionales.

2.3.5.5.2. Potencia de los Canales del Enlace Directo

Cada canal (Piloto, Paging, Sincronismo, Tráfico) está asociado con una Ganancia digital, ***G***, y un Factor de ponderación, ***W***.

- *La Ganancia digital (G)*, es un valor de 8 bits (0 a 255) que define la potencia del canal respecto a la máxima potencia especificada para cada canal ($P_{G_{max}}$).
- *El factor de ponderación (W)*, es un parámetro fijo para cada canal del sistema. El propósito del factor es establecer la máxima potencia del canal. Todos los canales tienen un factor de ponderación de 1, excepto el canal de paging que tiene una ponderación de 0.5 (4800bps).

P_{Gmax} = 20 % Potencia de la unidad radio base

$$Ga^2 = \frac{PG\max}{255^2}$$

$P_{canal(i)} = W_{canal(i)} * G^2_{canal(i)} * Ga^2$

$P_{piloto} = G^2_{piloto} * Ga^2$

$P_{paging} = \frac{1}{2} G^2_{paging} * Ga^2$

$P_{sincr} = G^2_{sincr} * Ga^2$

$P_{tráfico} = vf * G^2_{tráfico} * Ga^2$

2.3.5.5.3. Provisión del Enlace Directo

La cobertura del enlace directo es proporcional al PIRE.

$$\mathbf{PIRE = P_{TxBS}\,(dB) + G_{ABS} - L_{\text{feeder, conectores}}} \qquad (2.19)$$

La Tabla 2.5., muestra los valores típicos para el provisionamiento del enlace directo, considerando 4 canales activos de tráfico para aplicaciones de voz.

	Ganancia digital	Potencia (Watts)
Potencia de referencia ($P_{G_{max}}$)	255	4.00
Piloto	240	2.89
Paging	158	0.52
Sincronismo	106	0.29
Tráfico	174	2.19

Potencia total (Watts)		**5.89**
Potencia total (dBm)		**37.7**

Actividad de voz	0.45
Número de canales activos	4

Ganancia de la antena (dBd)	15
Pérdida por cable (dB)	2.98

PER (dBm)	52.7
PIRE (dBm)	49.72

Tabla 2.5. El PIRE depende del número de canales activos

- *Ganancia total de la estación móvil*

Ganancia de la antena receptora (dB)	0.00
Ganancia de handoff (dBi)	4.10
Ganancia de diversidad (dB)	0.00
Otras ganancias (dB)	0.00
Total de ganancias (dB)	**4.10**

Tabla 2.6. Ganancia total de la estación móvil

- *Pérdida de recepción total*

Pérdida en cable y conectores (dB)	0.00
Body loss (dBi)	3.00
Pérdida de penetración (dB)	0.00
Otras pérdidas (dB)	0.00
Total de pérdidas (dB)	**3.00**

Tabla 2.7. Pérdida de recepción total

- *Márgenes totales*

Margen logarítmico de desvanecimiento (dB)	11.40
Otros márgenes (dB)	0.00
Total de márgenes (dB)	**11.40**

Tabla 2.8. Márgenes totales

- *Sensibilidad del receptor*

Eb/No requerido	5.00	(dB)
Total de ruido efectivo y densidad de interferencia	-164.2	(dBm/Hz)
Densidad de interferencia recibida	-171.97	(dBm/Hz)
Otras interferencias	-176.26	(dBm/Hz)
Densidad de ruido térmico	-174.00	(dBm/Hz)
Figura de ruido recibida	9.00	(dB)
Sensibilidad del receptor	**-119.38**	**(dBm)**

Tabla 2.9. Sensibilidad del receptor

Las Máximas Pérdidas Permitidas por Trayectoria dependen de la potencia total desde la estación base, las ganancias, la sensibilidad de las estaciones móviles, las pérdidas y los márgenes anteriormente definidos.

$$MPPT[dB] = PIRE_{Txtráfico} + G_{Rxtotal} - L_{Rxtotal} - S_{Rx} - M_{total}$$

2.3.5.6. Selección del Modelo de Propagación

Existen varios modelos de propagación para varias aplicaciones o niveles de análisis. Algunos de estos modelos son:

- *Para planificación de interiores*
  - Walfish – Ikegami
  - Keenan – Motley Model
- *Para planificación de exteriores*
  - Algoritmo – 9999
  - Okumura – Hata (modelo más común, utilizado por varias herramientas de planificación)
  - Modelo Urbano
  - Cost – 231 (modificación del modelo Okumura – Hata para la banda de 1900 MHz)

A continuación se describirá el modelo de Okumura – Hata por ser el modelo más adecuado y porque la modificación de éste modelo es el aplicable para los servicios PCS.

2.3.5.6.1. Modelo de Propagación de Okumura – Hata

Este modelo es el correcto en aplicaciones de celdas con radios extensos. Sin embargo, para celdas de radios menores a 1 km el modelo no es exacto y generalmente no se lo usa.

- *Características principales:*
  - Es una fórmula empírica resultante de las curvas de Okumura.
  - El rango aplicable de frecuencias esta entre 150 MHz y 1.5 GHz.
  - El modelo es una fórmula estándar para pérdidas de propagación en zonas urbanas.
  - Buen modelo para celdas grandes en la banda celular.
  - No es un modelo adecuado para los sistemas PCS.

Hata definió la siguiente expresión:

$$L_{50}\ (\text{urbano})\ [\text{dB}] = 69.55 + 26.16\ \text{Log}\ f_c - 13.82\ \text{Log}\ h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55\ \text{Log}\ h_{te})\ \text{Log}\ d \qquad (2.20)$$

Para ciudades medianas y pequeñas:

$$a(h_{re}) = (1.1\ \text{Log}\ f_c - 0.7)\ h_{re} - (1.56\ \text{Log}\ f_c - 0.8) \quad [\text{dB}] \qquad (2.21)$$

Para ciudades grandes:

$$a(h_{re}) = 8.29(\text{Log}\ 1.54h_{re})^2 - 1.1 \quad [\text{dB}] \quad f_c \leq 300\ \text{MHz} \qquad (2.22)$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\text{Log}\ 11.75h_{re})^2 - 4.97 \quad [\text{dB}] \quad f_c \geq 300\ \text{MHz} \qquad (2.23)$$

Para áreas sub - urbanas la ecuación de Hata es:

$$L_{50}\ (\text{dB}) = L_{50}\ (\text{urbana}) - 2[\text{Log}\ (f_c/28)]^2 - 5.4 \qquad (2.24)$$

En donde:

f_c es la frecuencia en MHz, desde 150 MHz a 1.5 GHz

h_{te} es la altura del transmisor (estación base) en metros, desde 30 m a 200 m

h_{re} es la altura de la antena del dispositivo móvil, desde 1m a 10 m

d es la distancia transmisor – receptor en km

$a(h_{re})$ factor de corrección para la altura de la antena del dispositivo móvil, que está en función del área de cobertura.

L_{50} es la pérdida con un 50% de confiabilidad al borde de la celda

2.3.5.6.2. Modificación del Modelo de Okumura – Hata para Sistemas PCS (Cost – 231)

La extensión del modelo de Hata fue propuesto por la Cooperativa Científica e Investigación Técnica de Europa (EURO – COST) y se denominó como COST – 231 para aplicaciones en el rango de los 2 GHz.

$$L_{50}\,(\text{urbano})\,[\text{dB}] = \overbrace{46.3 + 33.9\,\text{Log}\,f_c - 13.82\,\text{Log}\,h_{te} - a(h_{re})}^{\mathbf{A}} + \underbrace{(44.9 - 6.55\,\text{Log}\,h_{te})}_{\mathbf{B}}\,\text{Log}\,d + C_M \qquad (2.25)$$

Donde, C_M es la constante para áreas metropolitanas y los parámetros son:

$C_M = 0$ dB para ciudades medianas y áreas sub – urbanas

$C_M = 3$ dB para áreas metropolitanas

fc: 1500 MHz a 2000 Mhz

hte: 30 m a 200 m

hre: 1 m a 10 m

d: 1 Km a 20 Km

2.3.5.6.3. Cálculo del Radio de la Celda

Con los datos de las máximas pérdidas permitidas por trayectoria de cada enlace (directo y reverso) y definido el modelo de propagación, se procede a realizar el cálculo del radio de cobertura.

De la ecuación de la propagación:

$$\text{MPPT}\ [\text{dB}] = A + B\,\text{Log}\,(d) \qquad (2.26)$$

El radio de la celda es:

$$d = 10^{\frac{(MPPT - A)}{B}} \qquad (2.27)$$

Donde:

d	radio de la celda
A, B	coeficientes del modelo de propagación

- *Análisis del radio de la celda*
  - *Morfología del área.-* El área puede ser considerada como urbana, suburbana y rural; dependiendo del área se estima el número de celdas.
  - *Altura de las torres.-* Las torres deben ser construidas con una altura que dependan de la zona donde están ubicadas. También influye en la estimación del número de celdas.
  - Las capacidades de la estación base también influyen en la determinación del radio de las celdas, estos parámetros incluyen:
    - Capacidad de potencia de transmisión
    - Velocidad del vocoder
    - Tipo de datos

2.4. ESTUDIO DEL SITIO

2.4.1. OBJETIVOS:

- Identificar las consideraciones durante el estudio del sitio
- Aplicar un uso eficiente de los recursos de radio

El proceso de planificación de ubicación de las celdas en un principio es una aproximación de posibles localidades. Si se tiene acceso a esas localidades, es necesario adecuar el sitio

de acuerdo a su situación. La posición exacta de un sitio depende de las posibilidades de construir el sitio el las localidades sugeridas.
Por esta razón, es importante que la planificación tenga conocimientos básicos de las localidades posibles a ser utilizadas.
La planificación de las celdas se denomina "Estudio de la Red de Radio"

2.4.2. ESTUDIO DE LA RED DE RADIO

2.4.2.1. Consideraciones Básicas

- *Ubicación Propuesta del Sitio*

El estudio inicial de un sistema de celdas resulta de un patrón teórico con posiciones supuestas para las localizaciones de los sitios. Las edificaciones existentes cambian el panorama y las posiciones reales reemplazan a las posiciones propuestas. Con la visita al sitio se obtiene la localización exacta (dirección – coordenadas).

- *Posición de las Antenas*

Las predicciones de propagación permiten escoger el tipo de antenas que pueden utilizarse en la estación base y la orientación que deben tener.
La altura predeterminada de la antena es la pauta inicial del estudio en el sitio, si la ubicación de la antena esta dentro de un 15% de desviación máxima, se puede considerar que tiene una exactitud suficiente. Es posible colocar las antenas a mayor altura sin correr ningún riesgo de interferencia, pero si son colocadas a menor altura las predicciones de propagación cambiarían. No es necesario que todas las antenas en las diversas celdas estén ubicadas la misma altura o dirección. Puede existir el caso especial en que la ubicación de las antenas esté limitada a algunas direcciones.

- *Separación de la Antena*

Las antenas necesitan estar suficientemente separadas y aisladas unas de otras. La separación horizontal entre antenas es de 2 – 3 m para la banda PCS. Los valores típicos de

separación entre antenas son de 0.4 m horizontal y de 0.2 m vertical con un aislamiento de 30 dB.

- *Obstáculos Cercanos*

En las áreas de una ciudad, los criterios de planificación de una celda deben proveer márgenes para diversos tipos de obstáculos.
Para una optima cobertura, es necesario que las antenas tengan unos 50 – 100 m libres en línea recta. La primera zona de Fresnel es aproximadamente de unos 5m desde esta distancia.

- *Estudio del Área de Servicio*

Es importante estudiar las áreas que se pretende servir desde los sitios propuestos y desde los sitios alternativos para localizar la estación base.

- *Contrato con el Propietario*

Es necesaria la documentación legal entre el propietario del sitio y la empresa contratante del lugar, en la que consten todas las especificaciones de la utilización y adecuación del lugar.

2.4.3. SITIO ADECUADO

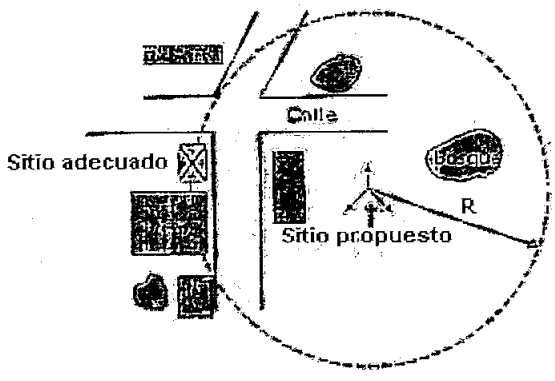


Figura 2.5. Búsqueda del sitio Adecuado

Si el nuevo sitio esta dentro del radio del sitio propuesto de la celda "R", a ese sitio se lo denomina Sitio Adecuado, en donde no es necesaria una nueva planificación de radio. Se asume que los cambios no afectan a las predicciones realizadas para el estudio del sitio. Convencionalmente se considera que el sitio apropiado se encuentre hasta R del sitio propuesto:

$$R = 0.1 \text{ radio de la celda}$$

En la práctica, el sitio adecuado no debe estar a más de 100 m en zonas urbanas y no a más de 200 m en zonas suburbanas y rurales.

2.4.3.1. Ejemplo de la Selección del Sitio Adecuado

La Figura 2.6 muestra un ejemplo donde se ubica el sitio propuesto, hay obstáculos cercanos, se presenta el área donde estaría el sitio adecuado y se especifica el mejor lugar para el mismo.

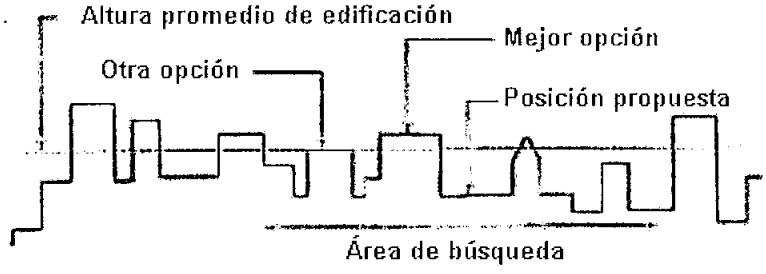


Figura 2.6. Sitio nominal y Sitio Adecuado

Además del mejor sitio, existen casos en donde se considera una segunda o tercera alternativa para el análisis.

2.4.3.2. Obstáculos Horizontales y Verticales

La siguiente figura muestra la importancia de tener un área de propagación de radio frecuencia libre cercana a la antena.

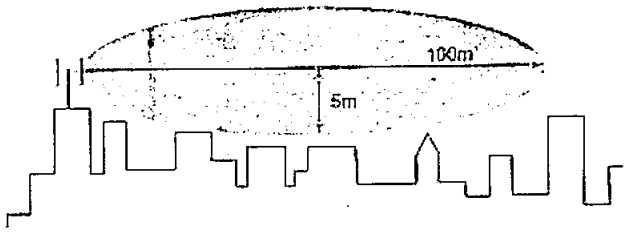


Figura 2.7. Zona de Fresnel

Algunos obstáculos bajo el área de propagación segura degradan los patrones de propagación de las antenas.

2.4.4. VISITA AL SITIO

Los siguientes aspectos pueden ser considerados al momento de visitar un sitio:

1. Identificar en una lista de sitios
2. Dirección del sitio
3. Localización en un mapa
4. Verificar que la localidad tenga suficiente espacio
5. Seleccionar un lugar para los equipos de la estación base
6. Tomar nota de la altura de las edificaciones altas
7. Realizar una proforma de la torre adecuada
8. Identificar la ruta para el cableado
9. Acometida de energía eléctrica
10. Protección a tierra del equipo
11. Tomar fotografías del sitio
12. Herramientas Necesarias

    Algunas herramientas son útiles para tomar datos importantes del sitio en estudio:

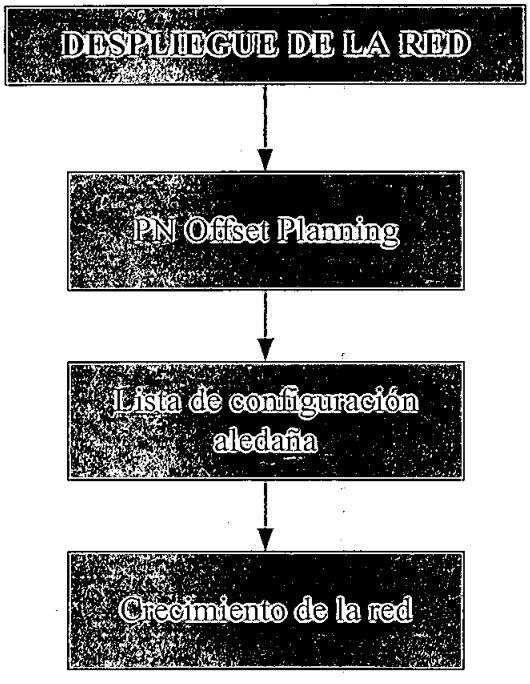
    - Receptor GPS
    - Flexómetro
    - Cámara
    - Calculadora
    - Binoculares
    - Implementos para tomar apuntes

13. Permisos Necesarios

Algunos permisos son necesarios obtener antes de la adecuación del sitio:

- Permiso de construcción
- Autorización del departamento de aviación cuando el sitio esta cercano a un aeropuerto
- Aprobación del propietario del edificio en caso que el sitio se implemente dentro o sobre alguna edificación
- Permiso de frecuencias
- Contrato del servicio de energía eléctrica

2.5. EL DESPLIEGUE DE LA RED



2.5.1. OBJETIVOS:

- Describir en que consiste el "PN offset planning"
- Describir en que consiste la lista de configuración aledaña
- Describir métodos para el mejoramiento de la red

2.5.2. PN OFFSET PLANNING

Los códigos de Pseudo-ruido (PN) son secuencias binarias pseudoaleatorias o chips con un periodo determinado, generadas por un registro de desplazamiento lineal (LSR, Linear Shift Register) realimentado y se emplean para la diferenciación de celdas y de usuarios dentro de una misma celda.

La Figura 2.8 muestra un LSR de tercer orden.

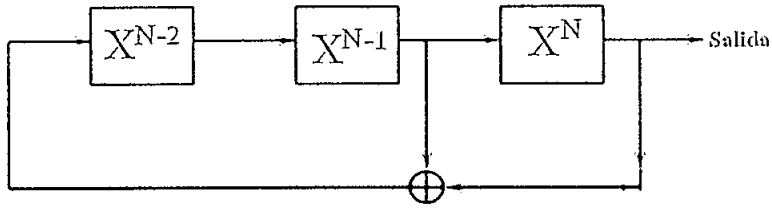


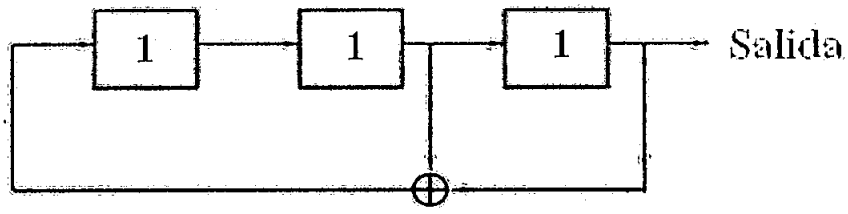
Figura 2.8. Registro de Desplazamiento Lineal de Tercer Orden

El número de retroalimentaciones depende del tipo de función y de la longitud del registro. Las conexiones de los registros al módulo sumador vienen determinadas por el polinomio generador de la secuencia PN, que es de la forma:

$$G(X) = 1 + A_1X + A_2X^2 + \ldots + A_NX^N$$

Donde Ai es '1' o '0' dependiendo si hay conexión o no con el módulo sumador.
El estado inicial de los registros es lo que se denomina semilla del código. Los sumadores lógicos realizan una OR-Exclusiva (XOR) de los registros para ser realimentados. Para el caso de códigos binarios la operación de suma módulo-2 es equivalente a la operación XOR.
Con un registro de desplazamiento consistente en N casillas se obtiene una secuencia que tiene una longitud máxima denominada máxima secuencia (M-Secuencia). Dicha longitud es $L = 2^N-1$. Las M-Secuencias están definidas por los denominados polinomios irreducibles o primitivos. Para diferentes valores iniciales de las casillas, la M-Secuencia obtenida es siempre la misma, la única diferencia es que empieza con un desplazamiento en el tiempo llamado fase de código.

En el siguiente ejemplo se muestra la generación de códigos PN con un registro de desplazamiento de tercer orden y una secuencia inicial dada:



Donde:

Número de chips N = 3

Secuencia inicial = 1 1 1

Polinomio generador $G(X) = 1 + X^2 + X^3$

PN 1→1.....1.....1

PN 2→0.....1.....1

PN 3→0.....0.....1

PN 4→1.....0.....0

PN 5→0.....1.....0

PN 6→1.....0.....1

PN 7→1.....1.....0

PN 1→1.....1.....1

Donde la secuencia generada es 1001011, cuya longitud máxima $L = 2^3-1 = 7$

Dependiendo del número de chips, es el número de secuencias PN. Sin embargo muy pocas secuencias son ortogonales.

Por ejemplo, para 64 chips se obtiene $N = 2^{64}-1$ secuencias PN, es decir $18.446744x10^{18}$ secuencias, de las cuales sólo 64 son ortogonales.

2.5.2.1. Propiedades de los códigos PN

- Una secuencia PN multiplicado por un 0 binario produce el mismo código PN.

0 **EXOR** código PN = código PN.

00000000 **EXOR** 00110011 = 00110011.

- Una secuencia PN multiplicado por un 1 binario produce el código inverso, también conocido como "código antipodal". 1 EXOR código PN = código PN inverso ó antipodal, o bien, el antipodal se obtiene haciendo el complemento de la secuencia

  11111111 **EXOR** 00110011 = 11001100.

- Una secuencia PN multiplicado por el mismo código PN produce ceros. Código PN EXOR código PN = 0.

  00110011 **EXOR** 00110011 = 00000000

- Una secuencia PN multiplicado por el código inverso ó antipodal, produce unos. Código PN EXOR código antipodal = 1.

  00110011 **EXOR** 11001100 = 11111111

2.5.2.2. El PN largo (Long PN)

En el enlace reverso los usuarios se separan utilizando un código pseudo-aleatorio conocido como long PN. Este código es realmente largo y es generado con un registro de desplazamisnto de 42 etapas. Su longitud es 2^{42}-1.
A un chip rate de 1,2288 Mcps el Long PN se repite cada 41 días.

2.5.2.3. El PN corto (Short PN)

En el enlace directo se utiliza una secuencia de duración relativamente corta para la separaración entre celdas generado por un registro de desplazamiento de 15 etapas, cuya longitud es de $2^{15} - 1$.
A un chip rate de 1,2288 Mcps se repite cada 26,66 ms.

La propiedad de correlación es importante a la hora de lograr el sincronismo.
Cada teléfono tiene una copia del PN, se correlaciona el PN contra el canal piloto y cuando se detecta una correlación fuerte logramos sincronismo con el sistema

La red debe ser planificada, de tal manera que los valores de PN piloto de una zona no aparezcan geográficamente cerca. Donde se requiera el rehúso de los valores PN piloto, geográficamente debe estar suficientemente separado.
El valor PN piloto 0 (cero) no debe ser utilizado en la práctica porque algunas herramientas de registro reportan PN 0 cuando las estaciones móviles son rastreadas en el sistema.

Se debe tener en cuenta consideraciones importantes como:

- *Reserva de PNs para sitios especiales*
- *Maximizar la distancia entre co-pilotos*
- *Planificación ordenada para evitar la piloto adyacente*

2.5.2.4. El PN Offset Piloto

Cada estación base usa un desplazamiento en tiempo de la secuencia PN piloto para identificar un canal directo.
Distintos canales son identificados por un índice de correlación de desplazamiento (0 a 511). Este índice especifica el desplazamiento en tiempo respecto de 0 de la secuencia PN piloto en múltiplos de 64 chips.
Existen 512 valores que son posibles de utilizar para la secuencia PN piloto. Los desplazamientos (en chips) para una secuencia PN piloto dada es igual al valor especificado por el índice multiplicado por 64.

EJEMPLO

Si la secuencia PN piloto en el índice es 12 (PN_piloto = 12), la secuencia de desplazamiento debe ser 12 x 64 = 768 PN chips

2.5.2.5. PN Piloto Incrementado (Piloto_ Inc)

Se define como el incremento del índice de desplazamiento de la secuencia PN piloto usado por un sistema total. El incremento de la PN piloto reduce el número de desplazamientos y viene dado por la formula:

$$\text{Número de desplazamientos válidos} = \frac{512}{\text{Piloto\_INC}}$$

Lo que se recomienda usar es $\frac{512}{4} = 128$ desplazamientos pilotos para un sistema total. Esto provee un razonable intercambio entre los dos probables conflictos de interferencia copiloto e interferencia piloto adyacente.

2.5.3. LISTA DE CONFIGURACIÓN ALEDAÑA

Consiste en obtener una lista de los sectores que son utilizados para handoff cuando una estación móvil se mueve de un área de cobertura de una estación base a otra. La estación base utiliza la lista de configuración aledaña para ubicar desde que sector proviene la estación móvil cuando se encuentra en estado de handoff.

Se considera aledaño cuando existe superposición entre dos sectores de cobertura. La región de superposición se define siempre por par de sectores, aquí es donde Ec/Io para ambos sectores esta sobre el umbral de handoff de cada sector. La Figura 2.9 muestra a un sector S1 y un sector S2, donde la región de superposición es la intersección I(S1,S2)

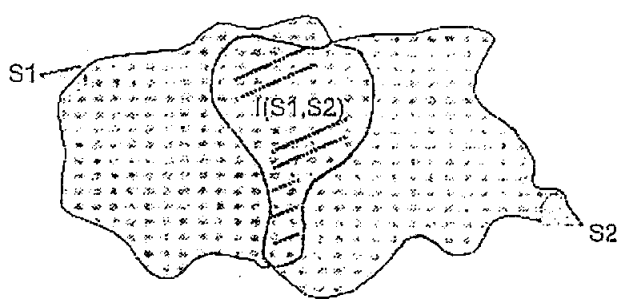


Figura 2.9. Región de superposición

2.5.4. CRECIMIENTO DE LA RED

La capacidad desarrollada debe servir para un plazo de seis meses a un año. Con las mediciones periódicas de tráfico es posible determinar los picos de incremento de capacidad y compararlos con la capacidad disponible del sistema, es decir, comparar la capacidad neta con la capacidad demandada.

Que exista un monitoreo permanente del sistema y una previsión de crecimiento es importante para una optima utilización de recursos.

El índice de crecimiento anual del número de abonados es una relación entre la cantidad de abonados finales y la cantidad de abonados iniciales.

Un número de suscriptores iniciales más cercano a la realidad se puede obtener con un estudio de mercado aplicado a la población del lugar en donde se va a brindar cobertura celular.

Varias opciones se consideran en caso de aumento de la demanda de servicio:

- Añadir portadoras CDMA
- Incrementar el número de sectores
- Ajustes en cada una de las celdas

CAPÍTULO III

3. PLANIFICACIÓN PARA EL EQUIPAMIENTO DE RADIO BASES

3.1. INTRODUCCIÓN

Para el funcionamiento de una estación radio base son necesarios dos componentes, equipo de telecomunicaciones e infraestructura.

Los equipos de telecomunicaciones de una estación radio base son variados y necesarios para la cobertura, como antenas y la unidad radio base, elementos para el transporte de información, como los equipos para enlace microonda, elementos para la conexión, como cables y conectores, determinados cada uno de ellos de acuerdo a los requerimientos del diseño.

Pero cada estación base, a más de sus implementos de hardware, requiere de infraestructura civil necesaria en la adecuación del sitio y requiere de ciertos elementos para la energización y acondicionamiento de temperatura. Estos requerimientos de infraestructura también dependen del lugar en el que se va a implementar la estación radio base. La influencia del entorno en donde se implementará una estación radio base es determinante al momento de planificar la infraestructura.

3.2. LA ESTACIÓN RADIO BASE [1]

La estación radio base tiene tres componentes principales:

La Red de Cobertura.- Compuesta por todo el hardware de telecomunicaciones empleado en la cobertura.

El "Backhaul".- Compuesto por los equipos de telecomunicaciones para el trasporte de la información entre la RBS y la BSC.

La Infraestructura Civil.- Necesaria para la adecuación del sitio.

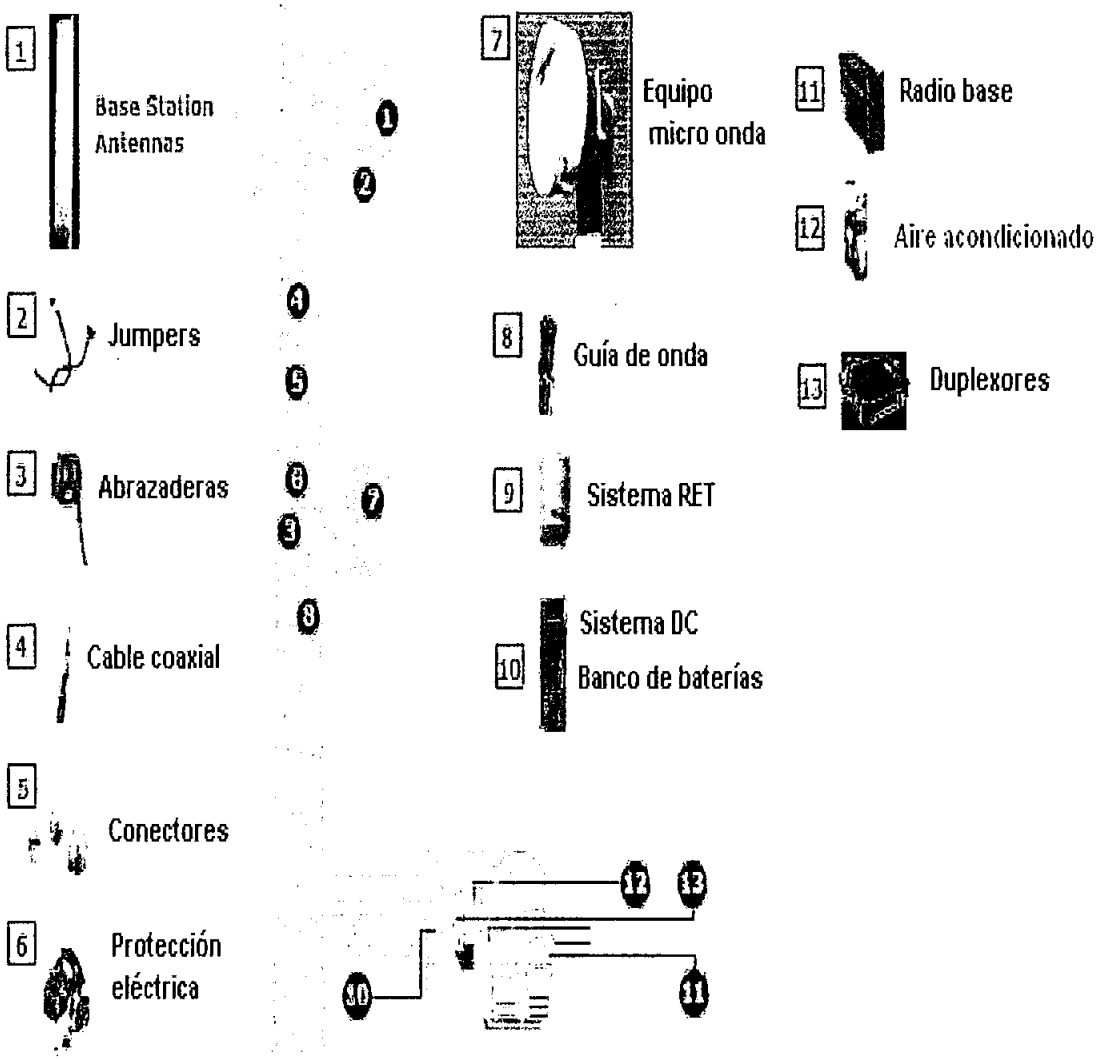


Figura 3.1. Visión general de las instalaciones para antenas en una RBS

3.3. LA RED DE COBERTURA

3.3.1. ANTENAS PARA ESTACIÓN RADIO BASE [1]

La instalación de un sistema irradiante en una estación radio base requiere cuidados especiales, porque cada elemento tiene influencia en la calidad final, varios criterios determinan su selección, como la durabilidad y confiabilidad.

Las exigencias en antenas para las redes en expansión son mayores de acuerdo a los nuevos requisitos de las actuales tecnologías de comunicaciones móviles.

Los parámetros que se consideran en la selección de una antena son:

- Rango de frecuencia de operación.
- Ganancia.
- Característica de irradiación: apertura horizontal, apertura vertical.
- Potencia máxima de entrada.
- Tipo de Polarización: Vertical, Cruzada + 45° / - 45° o Triple.

La selección de la antena *no depende* del tipo de transmisión o sistema, por ejemplo CDMA / TDMA / GSM / IMT2000 / UMTS.

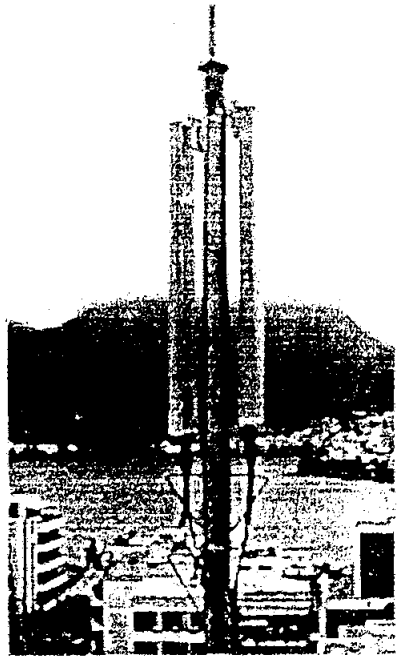


Figura 3.2. Antenas panel de estación base para comunicación con teléfonos celulares

3.3.1.1. Características [1]

3.3.1.1.1. Polarización

La polarización puede se define como la dirección de oscilación del vector de campo eléctrico. Generalmente, en las comunicaciones móviles, la polarización es vertical. En sistemas de radio difusión la polarización es horizontal o circular. Hay también la polarización dual, muy utilizada en sistemas celulares digitales.

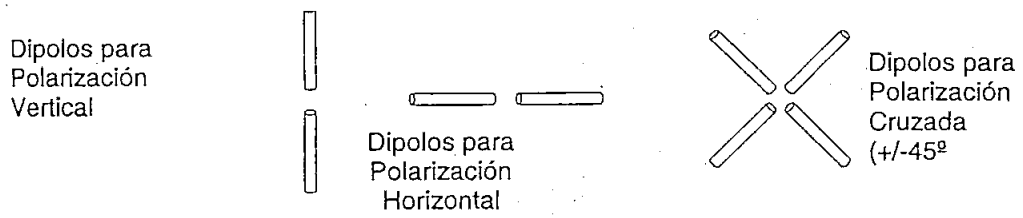
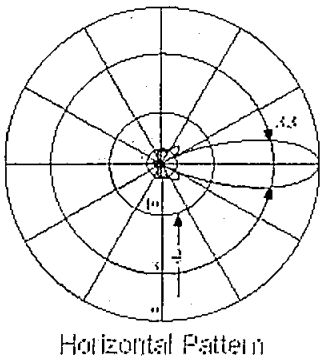


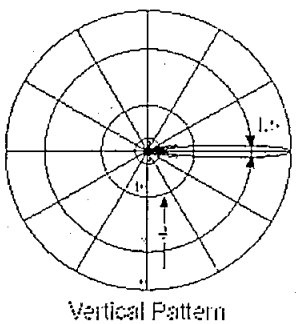
Figura 3.3. Polarización para dipolos

3.3.1.1.2. Diagramas de Propagación

En comunicaciones móviles está formado por las componentes del campo magnético (plano H) y por las componentes del campo eléctrico (plano E).



Plano Horizontal (H)
Observado de arriba, la distribución de la energía de una antena direccional tipo panel.



Plano Vertical (E)
Observado de lado, la energía se distribuye de esta forma.

Figura 3.4. Ejemplo de diagramas de propagación.

3.3.1.1.3. Ángulo de Media Potencia

Este término define la apertura de la antena. El ángulo de media potencia se define por los puntos en el diagrama horizontal y vertical, donde la potencia irradiada alcanza la mitad de su amplitud en relación con la dirección principal de radiación. Estos puntos también son conocidos como puntos de 3 dB.

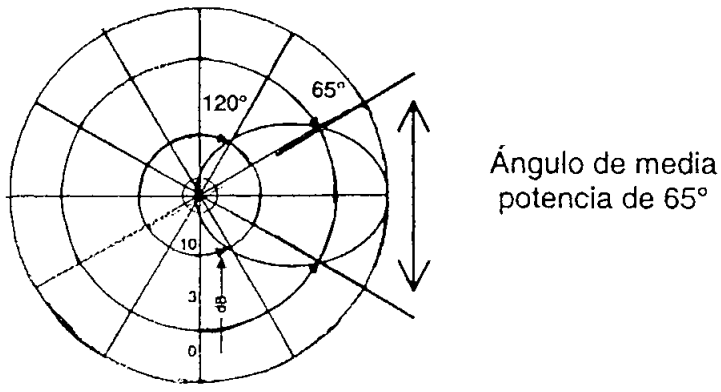


Figura 3.5. Ángulo de media potencia de una antena

3.3.1.1.4. Ganancia

En frecuencias altas la ganancia se determina con referencia al radiador isotrópico. El radiador isotrópico se define como una antena ideal no existente, que también es una antena omnidireccional con características en el plano E (Vertical) y en el plano H (Horizontal). La ganancia es la relación entre la potencia irradiada por una antena en su lóbulo principal y la potencia eléctrica, expresado en dB.

3.3.1.1.5. Relación Frente/Atrás (F/A)

Es la relación de la ganancia del lóbulo principal comparado con la ganancia del lóbulo secundario. En cuanto mayor sea el valor (medido en dB) de la relación Frente / Atrás, se garantiza mayor protección a las interferencias de la señal entre antenas de una misma RBS (Estación Radio Base) o entre RBS's distintas.

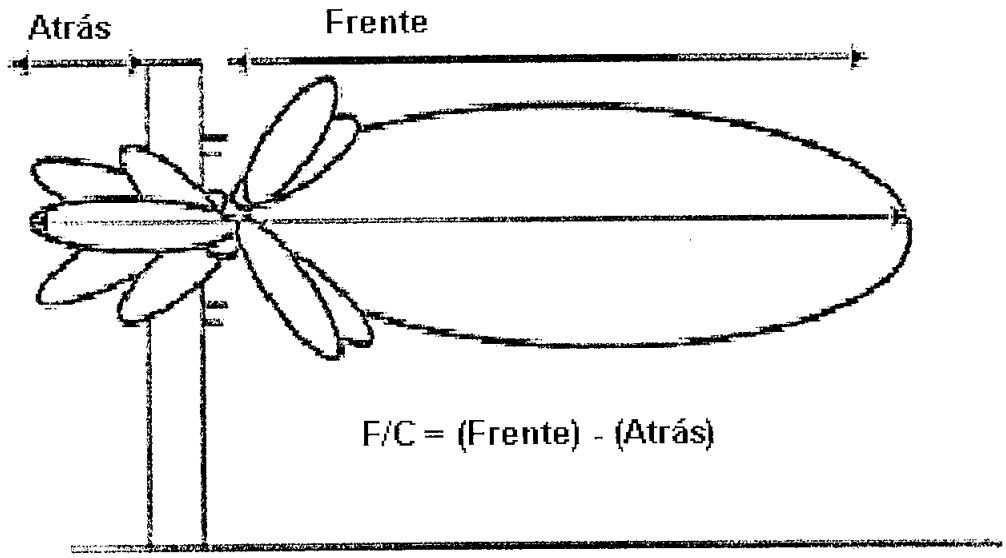


Figura 3.6. Relación frente / atrás en una antena

3.3.1.1.6. Impedancia

La impedancia es una característica importante en sistemas de transmisión especialmente en cables y conectores. En términos eléctricos es la relación de la tensión entre los conductores y la corriente que pasa por el mismo conductor. En cables coaxiales homogéneos la impedancia característica es constante para la longitud total del cable.
En comunicación vía radio la impedancia característica más común es 50 Ohm. Todos los equipos o componentes pasivos a ser utilizados en un sistema irradiante deben tener la misma impedancia característica. Variaciones en las impedancias características causan problemas de incompatibilidad eléctrica y reflexiones que distorsionan la transmisión.

3.3.1.1.7. VSWR y Pérdida de Retorno

Una impedancia de 50 Ohms se puede alcanzar solamente en una frecuencia específica. El VSWR (relación de onda estacionaria) define cual es la diferencia del punto de 50 Ohms en una antena de banda ancha.
La potencia emitida y la potencia de retorno forman una onda estacionaria correspondiente a una relación de tensión máxima y mínima (U Max / U Min).

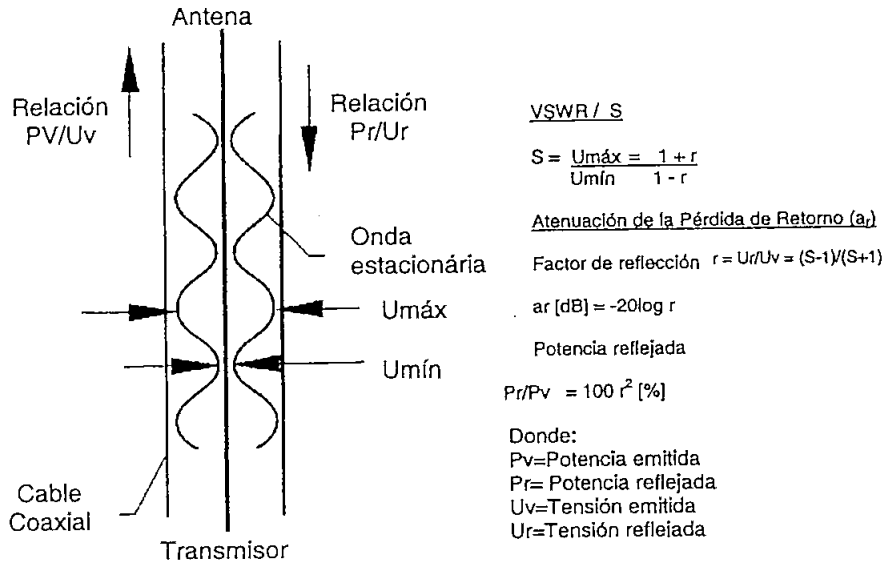


Figura 3.7. Relación de onda estacionaria (VSWR)

La onda estacionaria (VSWR) define el nivel de compensación de la antena. Un VSWR máximo de 1,5: 1 fue estandarizado para las comunicaciones móviles. De esta forma, el valor del componente real de la impedancia compleja debe variar entre los siguientes valores:

Valor máximo: 50 Ohms x 1.5 = 75 Ohms

Valor mínimo: 50 Ohms ÷ 1.5 = 33 Ohms

El término pérdida de retorno por atenuación es la relación de la tensión de retorno con relación a la onda transmitida UR/UV, este factor se denomina como el coeficiente de reflexión.

3.3.1.1.8. Downtilt (Inclinación del Haz)

El haz de radiación de cada sector de una estación base debe ser delineado de forma que no deje que la señal penetre dentro del territorio de otra celda causando interferencia destructiva.

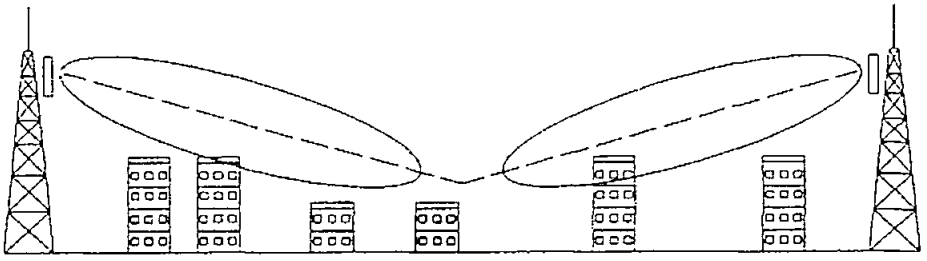


Figura 3.8. Propagación ideal entre células en un sistema

Para controlar el haz de radiación de la antena se utiliza un artificio llamado Downtilt.

- *El Downtilt puede ser mecánico.*- Se inclina la antena con el ángulo deseado.

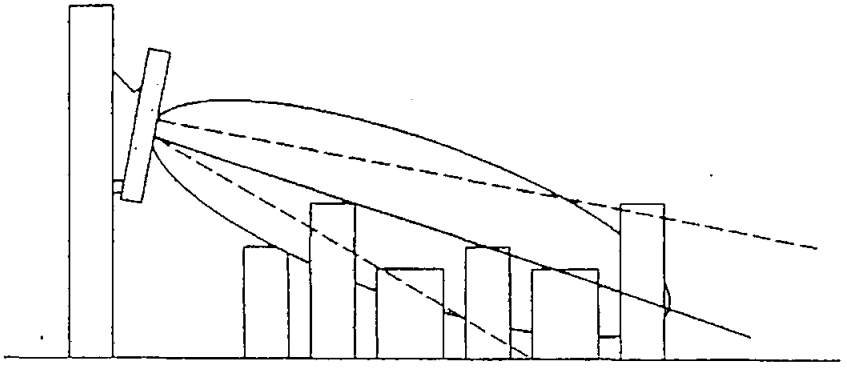


Figura 3.9. Downtilt Mecánico.

En la práctica la inclinación típica varía de 3° a 15°

- *El downtilt también puede ser eléctrico.*- La antena es ajustada en fábrica con el haz inclinado un ángulo estándar que puede ser de 0°, 2°, 4°, 6°, 9°, 12°.

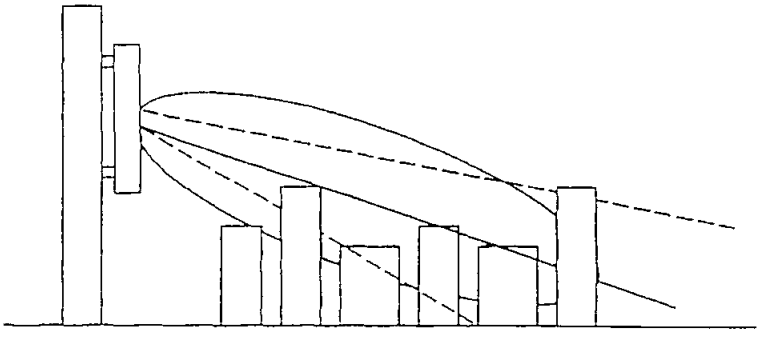


Figura 3.10. Downtilt Eléctrico

- *Existen antenas que tienen downtilt eléctrico variable.*- La antena tiene una manivela y una escala graduada para manipular el downtilt.

3.3.1.1.9. Intermodulación

Producto de intermodulación (IM) es una modulación indeseable que ocasiona alteraciones en las portadoras de salida. Esto puede ocurrir cuando una estación base transmite dos o más señales (portadoras) a través de dispositivos no lineales al mismo tiempo. Estos pueden bloquear uno ó más canales de recepción y causar corte en la llamada o desconexión celular y el congestionamiento del tráfico.

El riesgo de que este problema pueda ocurrir aumenta con la cantidad de las frecuencias de transmisión (portadoras) activas y conectadas a una antena de transmisión. El motivo de que la intermodulación aparece más frecuentemente en sistemas digitales es que estos operan con mayor número de frecuencias en comparación a los sistemas analógicos.

La modulación indeseable puede aparecer en cualquier frecuencia, pero es perjudicial solamente en un múltiplo de la frecuencia de transmisión.

3.3.1.1.10. Estabilidad Mecánica

Como las antenas son típicamente instaladas en lo alto de los edificios o en torres metálicas, están sujetas a varios tipos de intemperies, como, vibraciones, choques, viento, además de grandes variaciones de temperatura, efectos de lluvia, hielo y nieve. Una antena debe ser diseñada para resistir esos agentes naturales, de manera que continúe operando.

Resistencia a la corrosión, una antena debe ser diseñada para resistir los agentes atmosféricos, sin excluir:

- Corrosión química y metálica.
- Corrosión galvánica debido a la utilización de diferentes tipos de metales.
- Degradación por radiación ultravioleta (especialmente en plásticos)

La utilización de materiales y tratamientos superficiales apropiados proporcionan durabilidad y estabilidad de la antena en ambientes externos.

3.3.1.2. Antenas Omnidireccionales [1]

Las antenas omnidireccionales se caracterizan por tener una cobertura de 360° en el eje horizontal, radiando ondas electromagnéticas en todas las direcciones, por lo tanto, las perturbaciones en las condiciones de propagación del espacio libre tienen una particular influencia en el modelo de radiación horizontal de una antena. En consecuencia, un modelo horizontal circular puede ser creado si la antena es instalada en la punta de un mástil. Las antenas omnidireccionales pueden ser del tipo banda ancha o específicas para un rango estrecho de frecuencia. Típicamente un ambiente con configuración omnidireccional se realiza con tres antenas omnidireccionales.

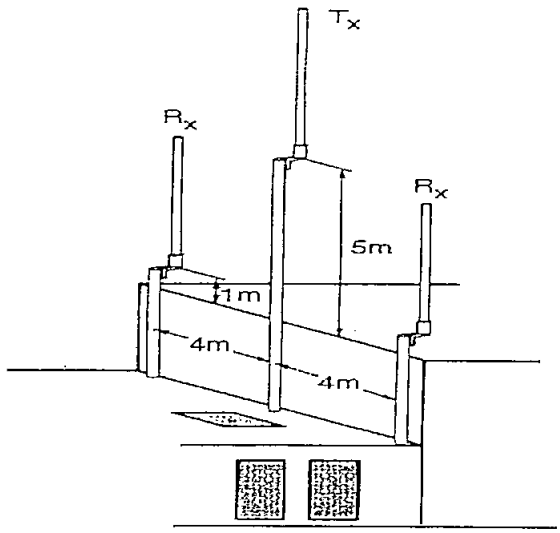


Figura 3.11. Instalación típica - Una antena de transmisión (TX) y dos antenas de recepción (RX).

La antena de transmisión es instalada a mayor altura y en el centro del sistema, a fin de garantizar una característica omnidireccional adecuada. Para reducir la influencia entre las antenas de TX y RX, las antenas de recepción son espaciadas de 12 a 20 longitudes de onda a fin de obtener una ganancia en diversidad de 4 a 6 dB.

3.3.1.3. Antenas Directivas con Panel Reflector (Paneles)

Los paneles irradian su energía apenas en ciertos segmentos del espacio y tienen una correspondiente relación frente/atrás de 20 dB o más. Esto significa que la radiación trasera

es relativamente baja y las reflexiones en esta área tienen muy poca influencia en el diagrama de radiación.

Por lo tanto, las antenas directivas muestran diagramas de propagación en el espacio semejantes a los especificados por el fabricante.

Una de las dudas más frecuentes es con relación a la elección de la apertura horizontal en función de la concentración de la población (tráfico), y también de la topografía.

En lugares densamente poblados, con muchos edificios y en terrenos accidentados, los paneles más utilizados son los de apertura horizontal de 65°.

En áreas suburbanas, con terreno plano, algunos predios bien espaciados y con muchas casas que caracterizan un ambiente típicamente suburbano, los paneles utilizados son los de apertura horizontal de 90°.

En regiones poco habitadas, planas, con habitantes distanciados en grandes extensiones de tierra, como el de un ambiente rural, se utilizan antenas ominidireccionales, o si el sitio es sectorizado, se pueden emplear antenas con 120° de apertura horizontal.

3.3.1.3.1. Diversidad [1]

La diversidad se usa para aumentar el nivel de la señal de la estación móvil hacia la estación radio base (enlace reverso). El problema en este sentido es el hecho de que el teléfono móvil trabaja únicamente con potencias bajas y tiene una antena de baja ganancia.

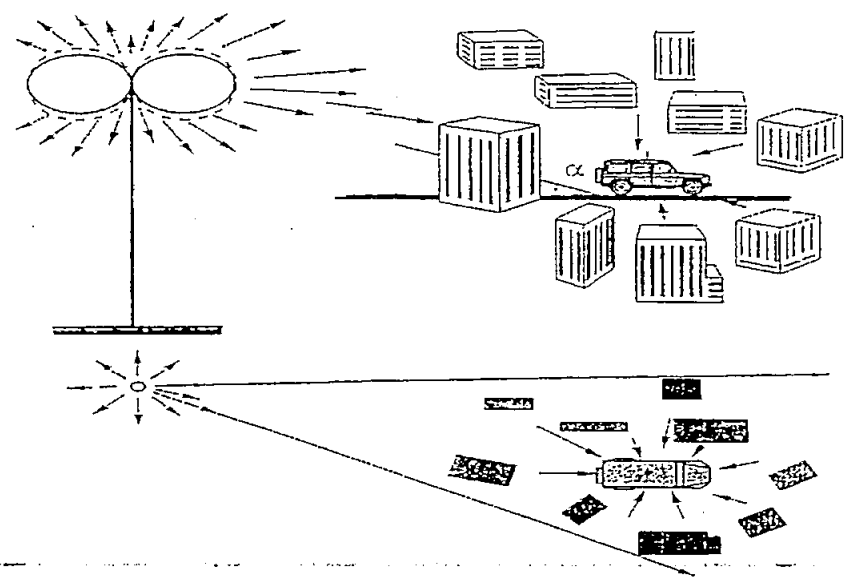


Figura 3.12. Señal directa y reflejada en una recepción

La diversidad se aplica a la parte receptora de la estación base. Una señal transmitida rara vez va directamente al usuario. La señal recibida en la mayor parte de las veces es la combinación de ondas electromagnéticas reflejadas y directas.

En casos extremos la señal se puede cortar totalmente en localidades específicas. Se conoce que la intensidad de la señal de recepción puede variar entre 20 y 30 dB a pocos metros.

Muchas veces la operación en calles estrechas o pasajes, sólo es posible si se utilizan estas reflexiones. Las reflexiones de edificios, postes o árboles son comunes, ya que en comunicaciones móviles se utiliza predominantemente la polarización vertical.

3.3.1.3.2. Diversidad en el Espacio [1]

Debido a la propagación de señales de radio en múltiples caminos, que especialmente ocurren en áreas urbanas, se introdujo la llamada *Recepción por Diversidad en el Espacio*.

Este sistema consta de dos antenas de recepción espaciadas a una determinada distancia. El principio básico define que una antena tiene intensidad de campo máxima y mínima en relación al área de cobertura, la otra antena tiene la misma característica, por otro lado totalmente diferente de aquella que está en la otra posición (espaciada de algunos metros). La intensidad de campo mínima de una de las antenas sería completamente compensada por el máximo de la otra.

La señal transmitida por el teléfono móvil es multireflejada en el campo de propagación y llega a la estación base por direcciones diferentes. La señal que llega a la antena receptora de la estación base es la suma de varios vectores con diferentes amplitudes, fases y polarizaciones.

Si dos antenas de recepción están localizadas a cierta distancia horizontal (o vertical) es muy probable que una de ellas proporcione la señal necesaria. Una unidad lógica permanentemente garantiza que la señal de nivel más alto de las dos antenas de recepción alimente el sistema de recepción.

Dependiendo de la situación individual en el área de propagación, el uso del *Sistema de Recepción por Diversidad en el Espacio* producirá una ganancia de 3 - 5 dB comparado al uso de una única antena receptora.

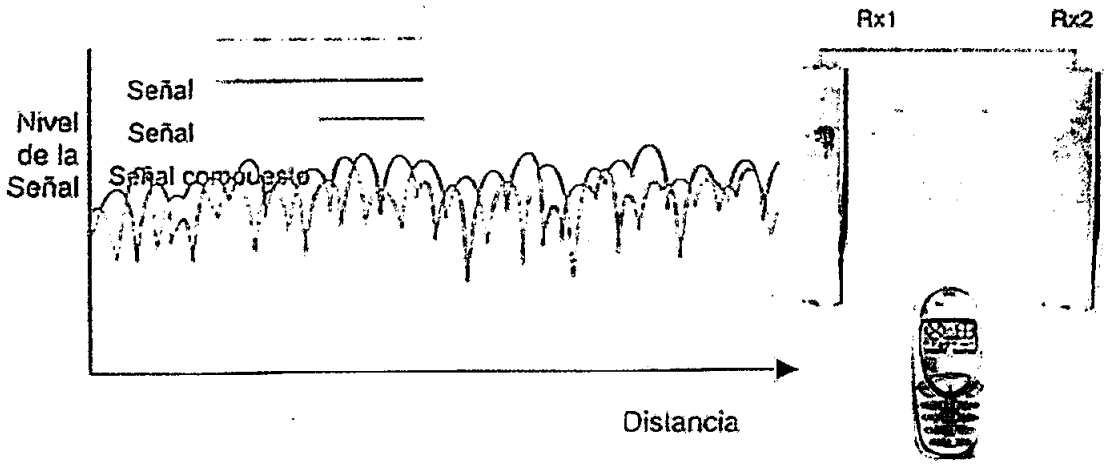


Figura 3.13. Nivel de la señal obtenido por la diversidad en el espacio

La mejoría en la señal promedio alcanzada mediante este método es llamada ganancia por diversidad.

Las antenas que poseen diversidades no se combinan, eso causaría características de radiación desfavorables. Las antenas tienen funciones de recepción totalmente separadas con diferentes caminos de recepción; solamente la mayor señal proveniente de una de las antenas es seleccionada por la estación base a través de sistemas y software especializados.

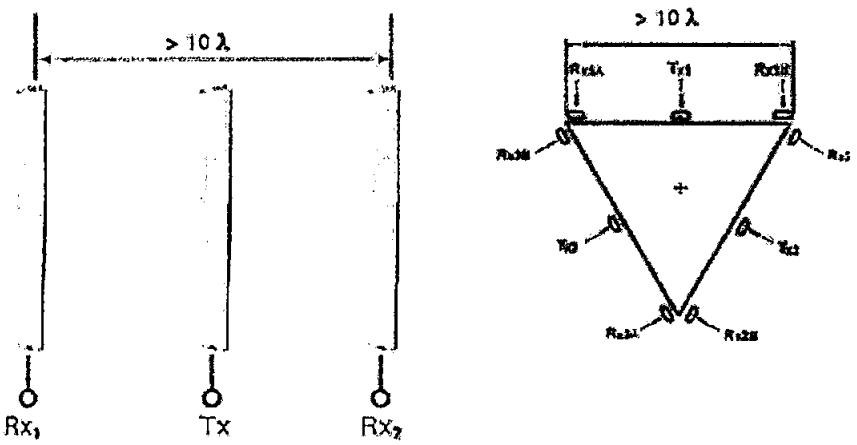


Figura 3.14. Sistema de antenas sectorizadas usando Recepción por Diversidad en el Espacio, 3 antenas, 3 alimentadores

3.3.1.3.3. Diversidad por Polarización [1]

Las reflexiones que ocurren en áreas urbanas no siempre tienen la misma polarización, también pueden existir componentes horizontales. Por otro lado, un teléfono móvil nunca

se coloca verticalmente, lo que significa que son posibles todas las polarizaciones entre vertical y horizontal. De esa forma tiene sentido lógico que estas señales puedan ser utilizadas. La diversidad por polarización emplea dos antenas ortogonalmente polarizadas y compara las señales resultantes.

Debido a la necesidad creciente de espacio, mayor cantidad de hardware y de cables de alimentación, además la dificultad de obtener permiso de las autoridades pertinentes y también de obtener la aprobación de los propietarios para la instalación de sistemas de antenas, amplias investigaciones indicaron que la *Recepción por Diversidad de Polarización* es equivalente o casi equivalente a la recepción por diversidad en el espacio. La *Recepción por Diversidad de Polarización* significa que los niveles de recepción de dos antenas ortogonalmente polarizadas son comparados y entonces la señal más fuerte se lleva al receptor.

Con el perfeccionamiento de esta técnica, el número de antenas individuales puede ser reducido considerablemente, con una mejor estética, reduciendo espacios y piezas de hardware.

En antenas con doble polarización, el aislamiento entre puertas (red de dipolos) debe ser de 30dB para evitar:

- Producto de intermodulación
- Bloqueo de los receptores

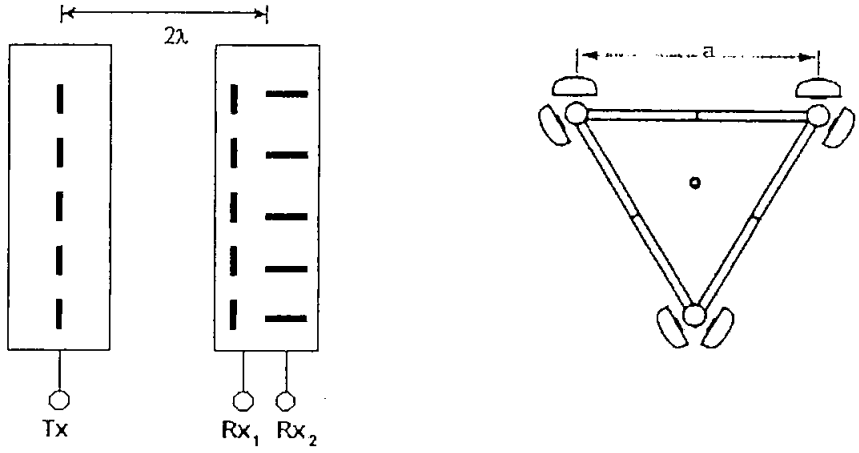


Figura 3.15. Sistema de antenas sectorizadas con Recepción de Diversidad de Polarización, 2 antenas, 3 alimentadores (feeders).

Como las antenas de estación móvil, operan dominantemente en el modo polarizado verticalmente, en una antena para RBS con polarización dupla (horizontal / vertical), la eficiencia de propagación es más favorable al sistema vertical que para el sistema horizontal.

Aún en antenas con polarización dupla cruzada con +45° / -45°, ambos sistemas son equivalentes con respecto a su eficiencia en la propagación. Los dos sistemas, por lo tanto, pueden ser usados con buenos resultados para el propósito de transmisión y recepción. Además de eso, el concepto de esta antena deja realizar transmisiones simultáneas de dos transmisores sin el uso de un combinador de transmisión.

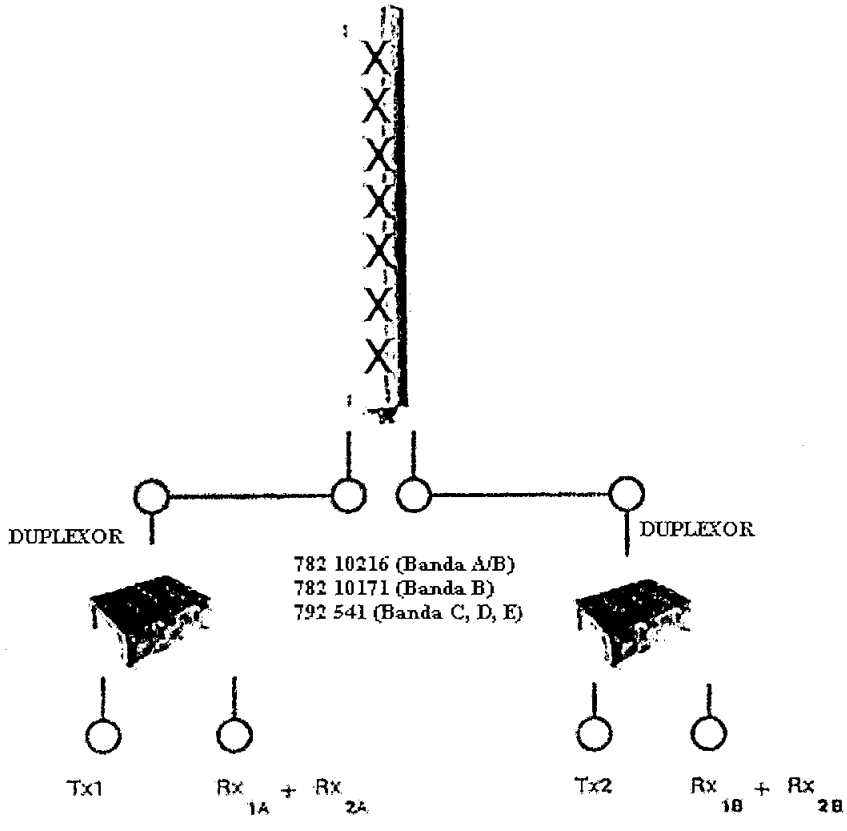


Figura 3.16. Antena polarizada en X para 2 canales de transmisión y 2 de recepción
1 Antena, 2 alimentadores (feeder), 2 Duplexores.

3.3.1.4. El Duplexor [1]

Este dispositivo se emplea cuando se usa una antena para transmisión y recepción al mismo tiempo. Físicamente es instalado dentro del shelter (cuarto de equipos) después del último jumper y antes de los transmisores.

Es un filtro de cavidad resonante que tiene la función de aislar dos frecuencias o dos rangos de frecuencias, una de la otra.

Como resultado se puede transmitir y recibir señales de radio frecuencia con una única antena.

3.3.1.5. El Sistema RET (Ajuste del Tilt Eléctrico por Control Remoto) [1]

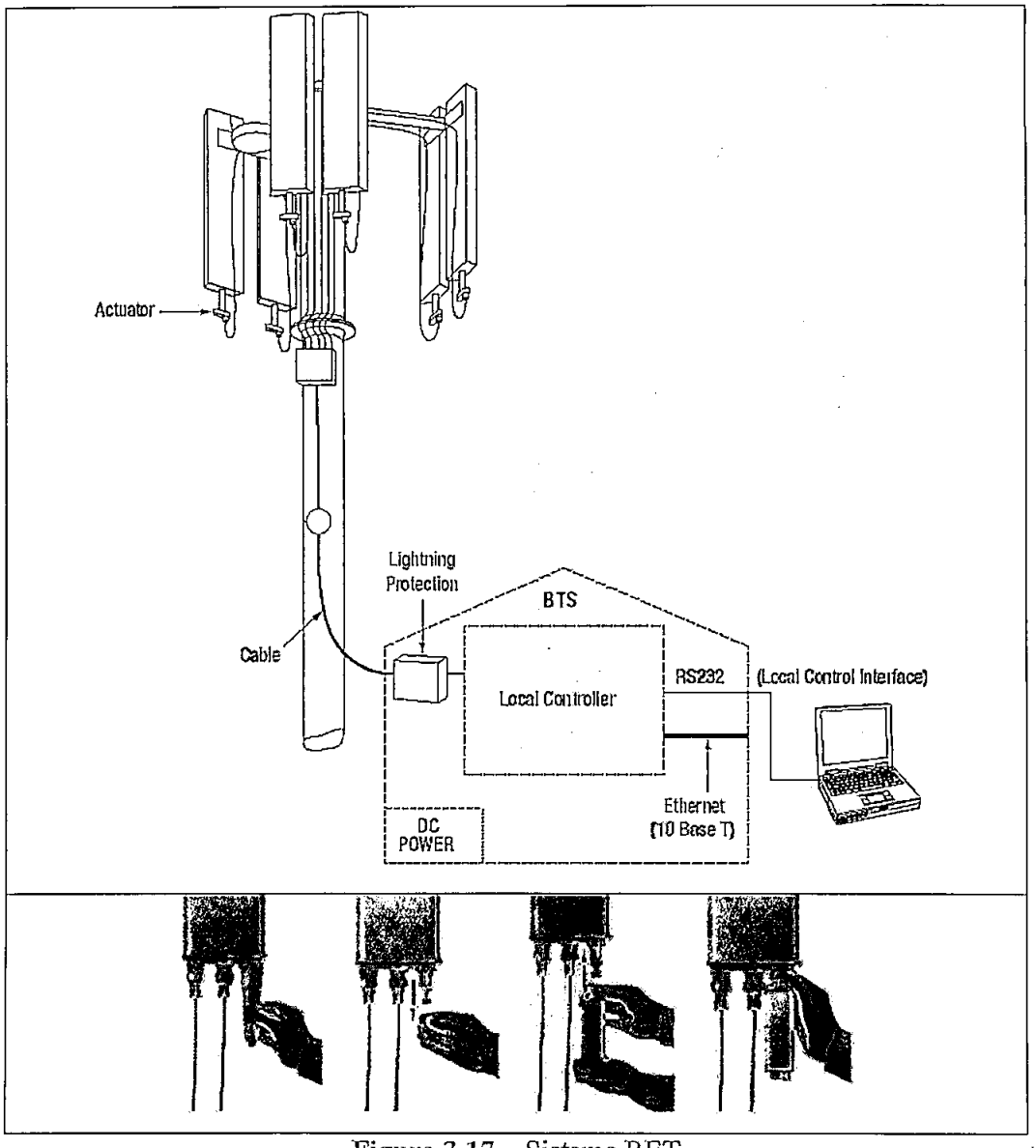


Figura 3.17. Sistema RET

Se trata de un sistema de variación del tilt eléctrico por control remoto, cuya función es la alteración de las características de irradiación, permitiendo una fácil y rápida optimización de la cobertura. Un motor de paso que se acciona desde la estación base, se encarga de modificar el tilt eléctrico.

Las ventajas del RET son principalmente la reducción de tiempo y la mano de obra para la modificación del ángulo del tilt eléctrico en redes de cobertura. En las redes CDMA, donde el tamaño de la celda (cobertura) varía de acuerdo a la cantidad de tráfico y la concentración de usuarios, se cambia el tilt eléctrico, a fin de concentrar la mayor cantidad de energía donde hay mayor número de usuarios. De esta manera, la estación base puede gestionar un mayor número de llamadas. Alterando el tilt eléctrico de una celda, se modifica el área de cobertura; por lo que una celda cercana inactiva puede también alterar su tilt eléctrico y cubrir el área descubierta por la otra.

3.3.1.6. Camuflaje de las Antenas [1]

Mientras las instalaciones de estaciones base, con sus torres, en el inicio fueron fácilmente aceptadas como un precio a pagar por el progreso de ganar movilidad en las comunicaciones telefónicas, aumenta la resistencia de los moradores contra el aspecto visual, principalmente por motivos estéticos.

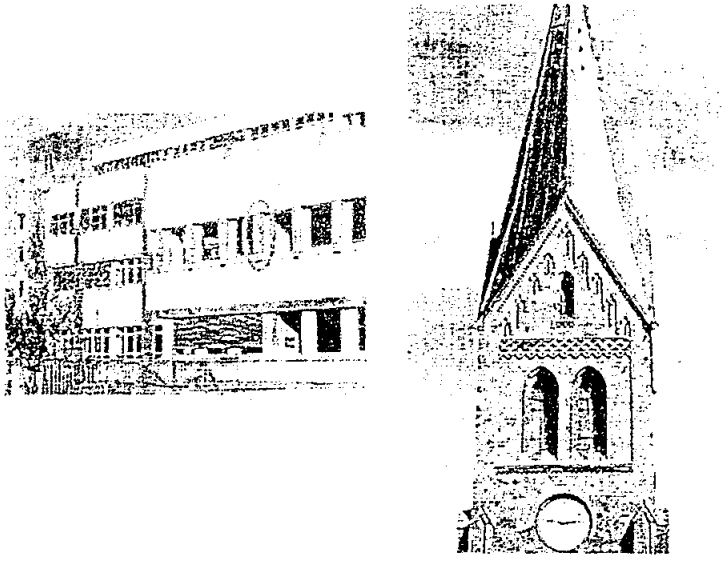


Figura 3.18. Antenas camufladas de forma harmoniosa sin afectar el estilo arquitectónico de cada edificación

Especialmente en las ciudades tradicionales, repletas de predios históricos, las torres representan una agresión visual directa, lo que motivó la necesidad de "esconder" las antenas.

La forma más simple de integrar el sitio es, colorear la carcaza de las antenas y las estructuras de soporte, adecuándolas al ambiente de instalación. Las antenas, con carcaza de fibra de vidrio, pueden ser coloreadas usando pintura adecuada. Si, además de las antenas, también debe ser "escondida" completamente la estación base, con torre y shelter, se aplica un camuflaje más apropiado. Actualmente en el mercado existe una variedad de soluciones como la apariencia de la torre pareciendo un árbol y los shelters una roca. Además de los aspectos arquitectónicos y estructurales, es importante usar materiales que no distorsionen o reduzcan las características de las antenas.

Figura 3.19. Fotos - Antenas camufladas

3.3.2. CABLES FEEDER [1]

Se aplican en la conexión del equipo de transmisión a la antena. Las aplicaciones más comunes son:

- Estaciones radio base para redes móviles (AMPS, TDMA, CDMA, GSM, etc.)
- Sistemas de radio enlace
- Sistemas de comunicación vía satélite

La función del cable feeder es de transmitir la radio frecuencia (energía entre el equipo de transmisión y la antena).

Los criterios de transmisión más importantes para la selección del cable son:

- atenuación
- pérdida de retorno o VSWR
- potencia máxima aplicable

Frecuencia (Longitud)	150 MHz	450 MHZ	900 Mhz	1800 Mhz	2100 Mhz
<25 m	½ " - 50 Ω	½ " - 50 Ω	½ " - 50 Ω	5/8" - 50 Ω	5/8" - 50 Ω
25... 50 m	½ " - 50 Ω	5/8" - 50 Ω	7/8" - 50 Ω	1 ¼ - 50 Ω	1 5/8" - 50 Ω
50 ... 75 m	½ " - 50 Ω	7/8" - 50 Ω	1 ¼ - 50 Ω	1 5/8" - 50 Ω	2 ¼" - 50 Ω
75... 100 m	5/8" - 50 Ω	1 ¼ - 50 Ω	1 5/8" - 50 Ω	2 ¼" - 50 Ω	-
100... 150 m	7/8" - 50 Ω	1 5/8" - 50 Ω	-	-	-
> 150m	1 5/8" - 50 Ω	-	-	-	-

Tabla 3.1. Dimensiones del cable para una impedancia típica de 50 ohms con base en la frecuencia

3.3.3. ABRAZADERAS

Una buena instalación utiliza abrazaderas a cada metro para fijar adecuadamente el cable coaxial junto a la torre.

3.3.4. CABLE COAXIAL

En cables coaxiales el circuito de transmisión es formado por 3 elementos funcionales: conductor interno, dieléctrico y conductor externo. Estos 3 elementos son concéntricos, quiere decir, ellos tienen el mismo eje central. Los materiales y las dimensiones de estos 3 elementos determinan las características eléctricas de transmisión del cable coaxial.

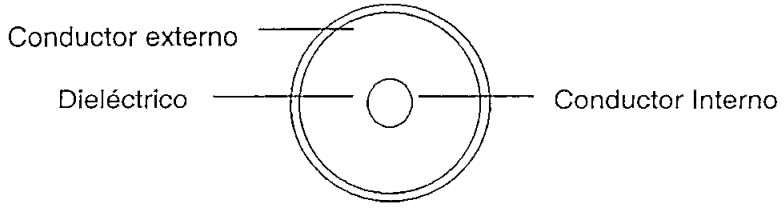


Figura 3.20. Elementos funcionales de un cable coaxial

Todos los cables coaxiales también tienen una capa plástica envuelta de su conductor externo y pueden incluir algunos otros elementos constructivos dependiendo de la aplicación del cable.

3.3.5. CONECTORES

El conector representa siempre una mayor o menor discontinuidad del sistema. Por este motivo la selección y el montaje de los conectores requieren atención especial. Conectores tipo N y 7/16 están disponibles para todos los tipos y tamaños de cables. Los conectores deben ser colocados de una forma correcta. Es recomendable sellar con material plástico termorretráctil o similar.

3.4. EL BACKHAUL

Un enlace puede ser punto a punto o multipunto, pero la mayoría de los enlaces son punto a punto. Existen tres formas de realizar un enlace para la red de transporte, estas son:

- Enlace por microondas
- Enlace por fibra óptica
- Enlace por cobre

Usualmente el enlace utilizado para la red de transporte es vía microonda. La banda de operación para el enlace está en función de la distancia, es decir, si la conexión entre radio bases es cercana, se emplea la banda de 15 GHz. Pero si la distancia es mayor, se emplea la banda de 7 GHz para que los efectos de desvanecimiento no deterioren la calidad del enlace.

La topología adecuada para la red de transporte es en "estrella"; las radio bases se comunican a través de un nodo central y éste se encarga de distribuir el tráfico hacia otros nodos o radio bases.

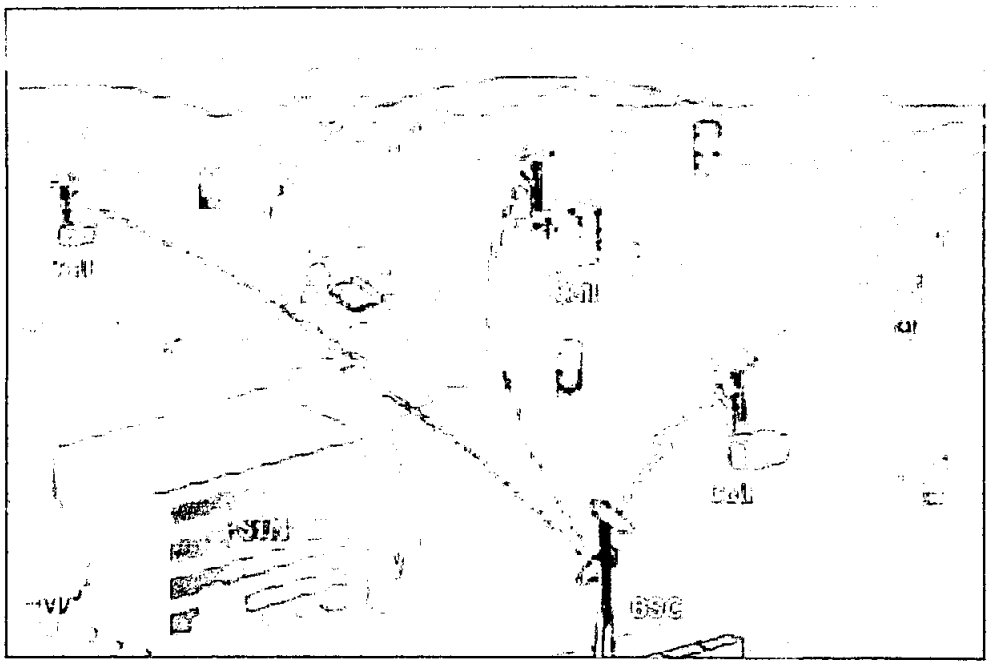


Figura 3.21. Enlace entre RBS's y la BSC

3.4.1. ENLACE POR MICROONDAS

El enlace de microondas consiste de dos terminales tranceptores, cada uno conectado por una guía de onda a una antena. Estas antenas son alineadas en un espacio sin obstrucciones, de tal manera que exista línea de vista entre ambas.

Los enlaces por microondas son seleccionados para conectar dos localidades. Además intervienen algunas variables que se deben considerar para determinar un enlace apropiado:

- Línea de vista
- Banda de frecuencia de operación
- Sensibilidad del receptor
- Potencia del transmisor
- Pérdidas en el espacio libre entre las antenas
- Ganancia de las antenas
- Pérdidas de señal (Atenuación) entre el transmisor y la antena
- Pérdidas de señal (Atenuación) entre el receptor y la antena
- Sensibilidad del receptor

A fin de asegurar que el enlace funcione de manera confiable, es importante la existencia de un margen de seguridad denominado *margen de desvanecimiento.*

Margen de desvanecimiento = *Potencia transmitida – Pérdida en la guía de onda de transmisión + Ganancia de la antena de transmisión – Pérdida en el espacio libre + Ganancia de antena de recepción – Pérdida en la guía de onda de recepción + Sensibilidad del receptor*

El desvanecimiento se produce por dos motivos:

- Desvanecimiento por múltiples trayectorias (variaciones de k atmosférico)
- Desvanecimiento por efecto de lluvia o nieve.

La disponibilidad consiste en un porcentaje de tiempo que un enlace permanece operativo y el valor típico es de 99.999%.

3.4.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA ANTENA MICROONDA

Las antenas microondas fueron diseñadas para operar en bandas de frecuencias especificadas por normas nacionales e internacionales. Estas bandas son: 7, 8, 10, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32 y 38 GHz hasta el momento.

Figura 3.22. Equipo para enlace microondas

Una antena microonda posee características eléctricas y mecánicas como las enunciadas anteriormente, es decir, polarización, diagrama de propagación, ángulo de media potencia, ganancia, relación frente atrás, VSWR, pérdidas de retorno, impedancia y estabilidad mecánica.

3.4.3. GUÍA DE ONDA

En frecuencias de microondas los cables coaxiales se vuelven inadecuados debido a las altas pérdidas por atenuación. En su lugar se utiliza la guía de onda que es esencialmente un tubo de cobre con forma y dimensiones adecuadas a la transmisión en estas bandas.

3.4.4. LA UNIDAD RADIO BASE

El desempeño de la unidad radio base está en función de la cobertura de la celda y de la capacidad.

La cobertura de una estación radio base también depende de la calidad de las antenas y pérdidas en las conexiones. La máxima potencia entregada a la antena por la unidad radio base, está alrededor de 20 W, pero considerando las pérdidas, la potencia entregada a una antena es de alrededor de 14 W.

En las mejores condiciones de propagación y con bajas pérdidas, el alcance de la cobertura puede llegar a ser de 125 km.

La capacidad puede definirse en términos del número de sectores y del número de llamadas simultáneas por sector. El número de llamadas simultáneas está limitado por tres factores:

a) Capacidad del interfaz aire
b) Capacidad del hardware (número de elementos de canal)
c) Capacidad para el backhaul

3.4.4.1. Capacidad del Interfaz Aire

La potencia de la radio base se asigna a cada canal de voz, ésta unidad tiene un control automático de potencia de lazo abierto y cerrado, lo que permite asignar una menor potencia cuando el móvil se encuentra cerca de la RBS o en un ambiente de bajo ruido,

pero si el móvil se encuentra en situaciones complicadas, la RBS aumenta la potencia y la potencia restante sirve para asignar a nuevos canales de voz.
Por este motivo la capacidad no es constante, varía dependiendo de la interferencia del ambiente y de la distancia de los móviles. Sin embargo para objetivos de diseño se asume que pueden cursar de 32 a 34 llamadas simultáneas por sector y por portadora.

3.4.4.2. Capacidad del Hardware

La RBS se conecta directamente a los terminales móviles, estas comunicaciones son multiplexadas para luego ser enviadas a la BSC a través del backhaul. Esta multiplexación se realiza en codificadores que contienen los "elementos del canal" y tienen diferentes capacidades: 64 CE, 128 CE y 256 CE (CE = elementos de canal) por portadora de RF.

3.4.4.3. Capacidad para El Backhaul

El backhaul se encarga de trasportar todas las comunicaciones generadas en una RBS hacia la BSC y se lo realiza a través de E1's, que son de 2.048 Mbps. Existen varios E1's disponibles por cada unidad radio base y se emplean de acuerdo a la cantidad de tráfico que se produce en el sector de cobertura.

3.5. INFRAESTRUCTURA DE UNA ESTACIÓN RADIO BASE

3.5.1. CERRAMIENTO

Todas las radio bases necesitan estar protegidas para evitar la presencia de personas no autorizadas en el interior del sitio. Esto se logra construyendo un cercado o cerramiento en todo el perímetro autorizado a la operadora telefónica.
Dependiendo de la condición del lugar donde se ubicará la estación base, se tienen varias situaciones, las que influyen para determinar un criterio y efectuar el cerramiento adecuado. Generalmente el cerramiento es una estructura de concreto de aproximadamente 3 metros de altura, pero también se suele utilizar cerramientos de malla galvanizada o estructuras mixtas.

3.5.2. SOPORTE PARA LAS ANTENAS

Del mismo modo, el entorno que se presenta también influye en la selección de las estructuras para soporte de las antenas, pudiendo estas estructuras ser torres, las que de acuerdo a criterios de diseño, determinará la altura de la torre en cada estación base, permitiendo satisfacer los enlaces de microondas. Pero existen situaciones en que no se necesitan torres y se emplean solamente soportes verticales para las antenas. Nuevamente, esto dependerá de las condiciones del lugar y de la aplicación.

3.5.3. RADIO BASE IMPLEMENTADA SOBRE UN TERRENO

El sitio más adecuado para la implementación de la radio base, es sin lugar a dudas un lugar plano, como un lote de terreno, espacio que puede ser adquirido por la empresa operadora.

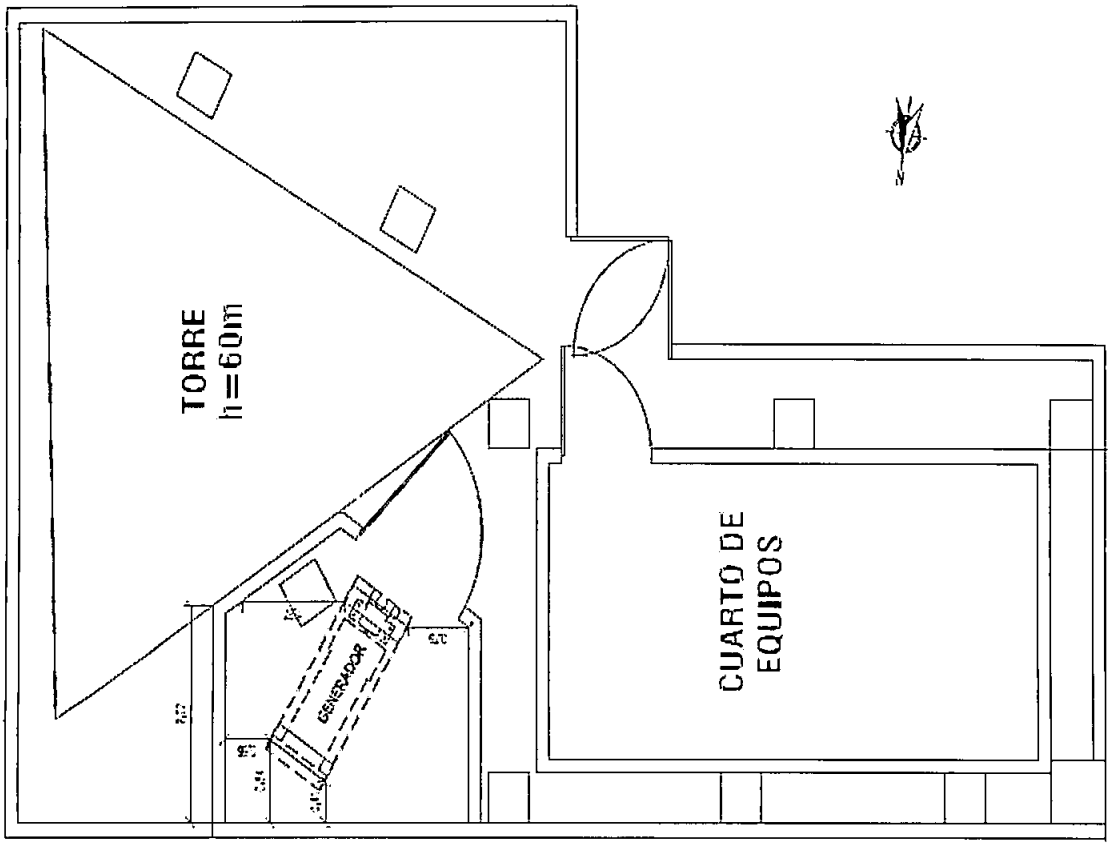


Figura 3.23. Infraestructura en un terreno

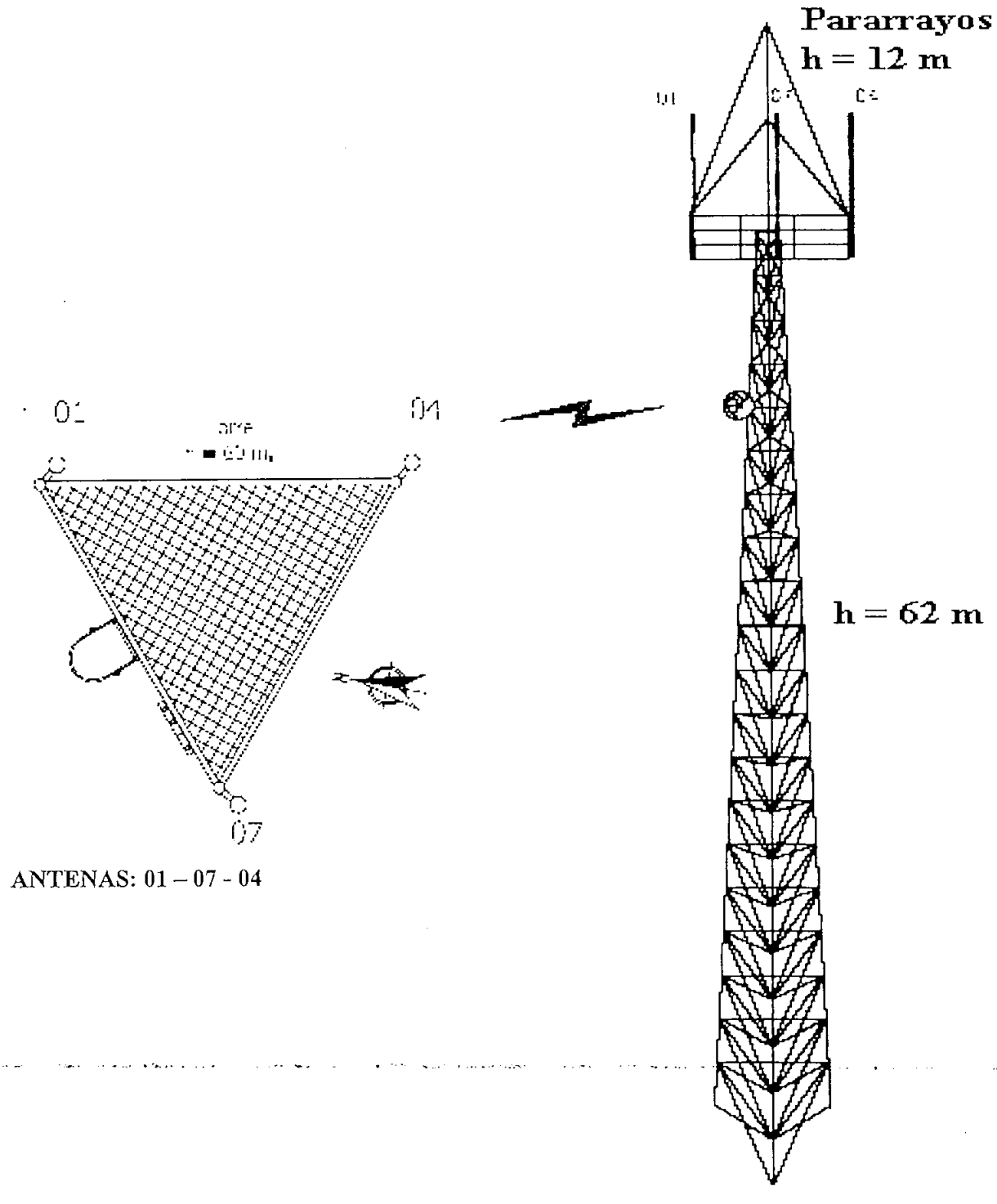


Figura 3.24. Base y torre para soporte de antenas

3.5.4. RADIO BASE IMPLEMENTADA SOBRE EDIFICACIÓN

De los estudios realizados para la selección del sitio, que permitirá satisfacer la demanda de tráfico en un determinado sector de una ciudad, cabe la posibilidad de que ese sitio no sea un lugar abierto para su implementación, sino que sea un lugar densamente poblado rodeado de edificaciones.

Una situación puede ser que el lugar más idóneo sea sobre las bases de un edificio. La radio base deberá entonces ser montada sobre el edificio seleccionado tomando en cuenta su altitud para compensar la altura de la torre.

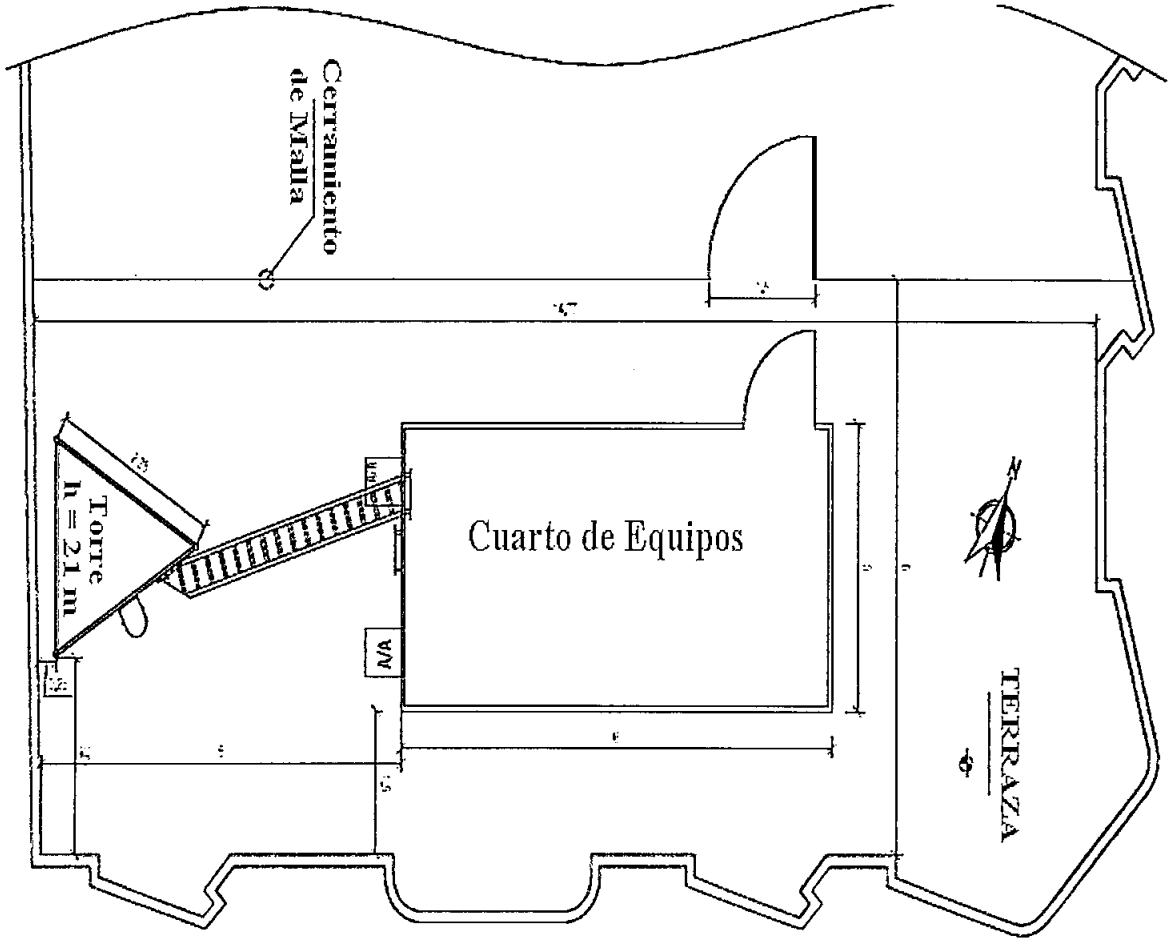


Figura 3.25. Infraestructura sobre edificación

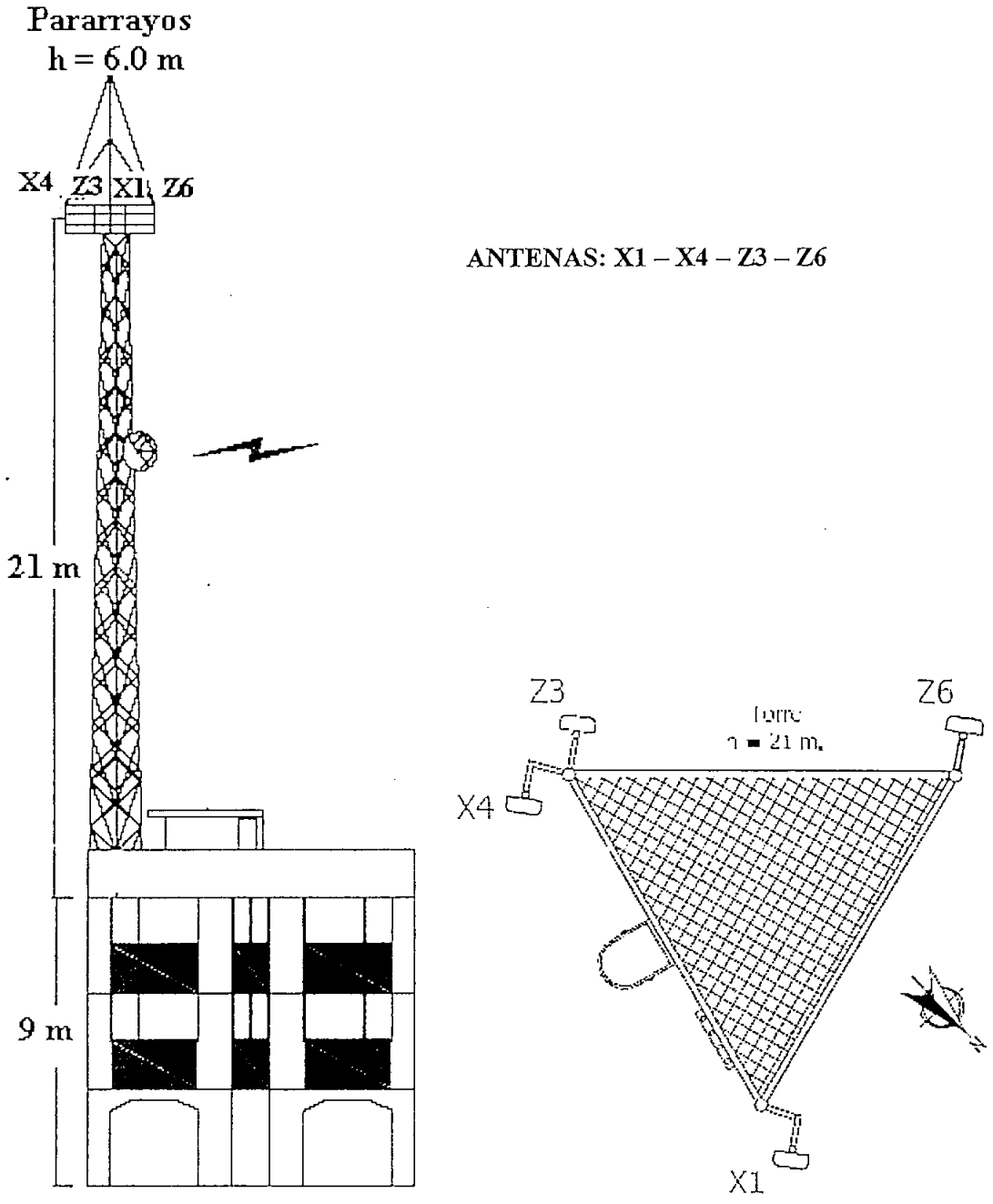


Figura 3.26. Base y torre para soporte de antenas

Otra situación se presenta si la altura del edificio es suficiente para el propósito requerido, tal es así, que se puede sustituir la utilización de la torre solamente empleando soportes verticales o parantes. También el propósito puede ser proporcionar directividad hacia un lugar específico de la zona a servir.

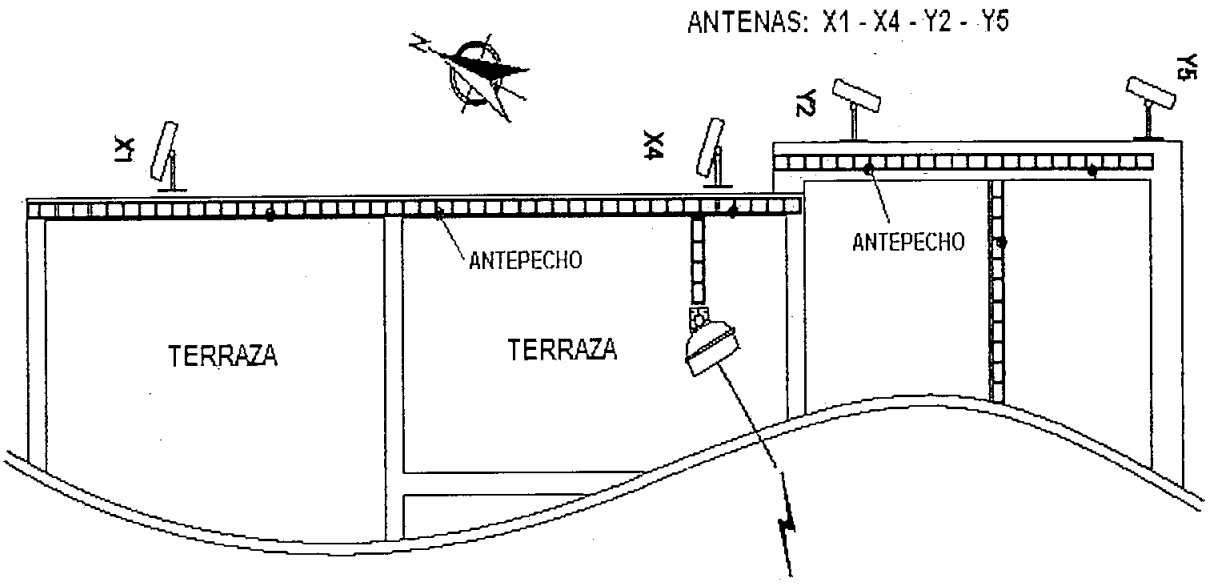


Figura 3.27. Soportes verticales para antenas

3.5.5. CUARTO DE EQUIPOS O SHELTER

El cuarto de equipos es la habitación en donde están todos los elementos de hardware para el funcionamiento de la estación radio base.

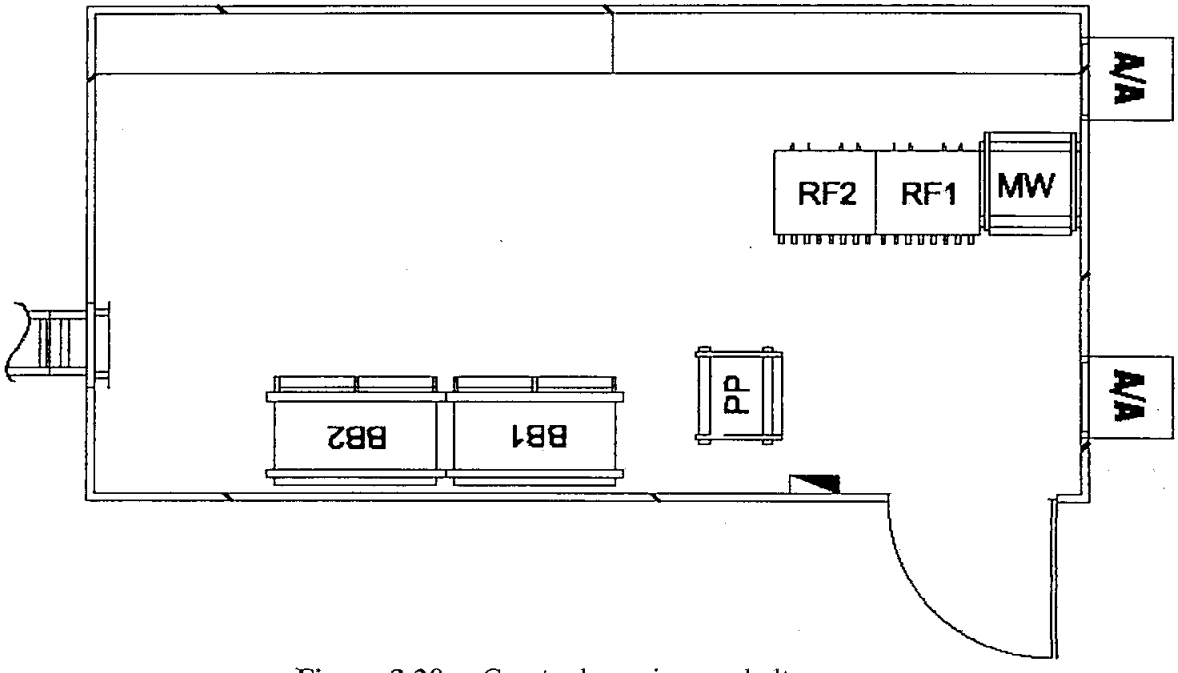


Figura 3.28. Cuarto de equipos o shelter

Usualmente en nuestro medio es una habitación de concreto cuyas dimensiones dependen de la situación del lugar y del los elementos contenidos, también se denomina "shelter" cuando el montaje de la habitación es elaborado con materiales prefabricados recomendados por algunos fabricantes de elementos de hardware para estación base.
La figura 3.28 muestra un tipo de cuarto de equipos identificando los elementos existentes en su interior, como:

A/A: Aire acondicionado
MW: Equipo micro onda
RF1, RF2: Unidades de radio base
PP: Sistema DC (Power Plant)
BB1, BB2: Bancos de baterías

3.5.6. CARGA ELÉCTRICA AC

La carga estimada para una radio base depende del estudio de potencia de los equipos eléctricos y de alumbrado instalados.
Involucra considerar la potencia (KVA) que se va a utilizar en la estación radio base para instalaciones iniciales y futuras. Esto da como resultado la demanda total de potencia que permite seleccionar el transformador bifásico requerido para el funcionamiento de la estación radio base.

3.5.7. DIAGRAMA UNIFILAR

A partir de la red de distribución eléctrica se realizan las conexiones necesarias hacia el transformador, el que puede ser adquirido por la empresa celular o proporcionada por la empresa eléctrica.
Para situaciones de cortes o fallas de energía en la red eléctrica, se dispone de un generador AC bifásico, que va conectado al conmutador a través de cables de calibre #2 y #1 y guiados por una tubería de 2" de diámetro.

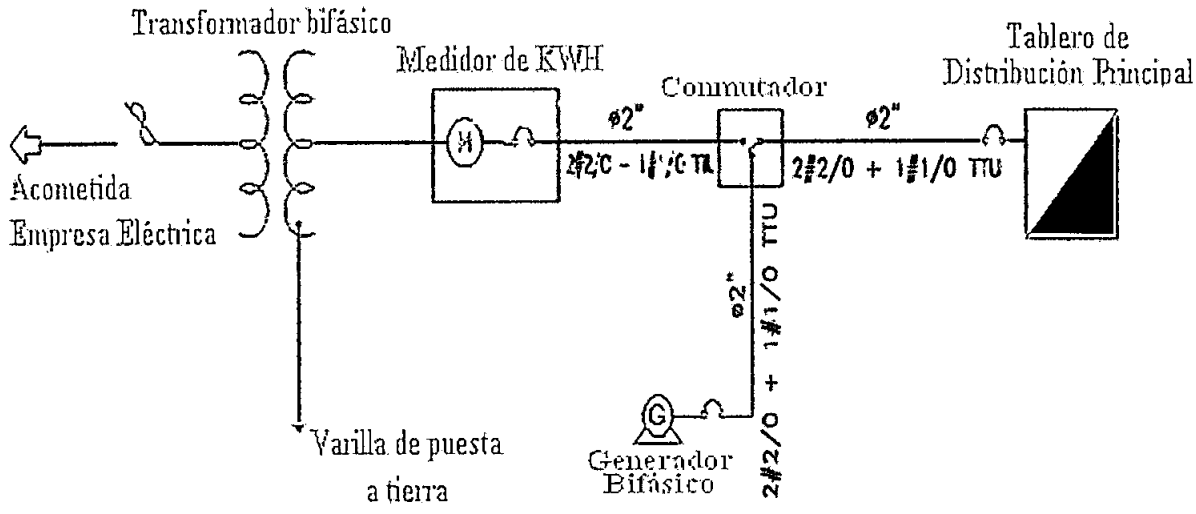


Figura 3.29. Diagrama unifilar

La conexión entre el medidor y el tablero de distribución principal se realiza utilizando 2 cables #2 más un cable #1 distribuidos en el interior de una tubería de 2" de diámetro.

3.5.8. SISTEMA DC y BANCO DE BATERÍAS

El sistema DC está compuesto de un grupo de rectificadores, un sistema distribuidor y un banco de baterías de respaldo.

Los rectificadores se encargan de transformar el voltaje de entrada bifásico a un voltaje DC de 48V, que es el necesario para que funcionen los equipos de telecomunicaciones.

Parte de la corriente proporcionada por estos rectificadores sirve para la carga de las baterías de respaldo.

El sistema de distribución se encarga del monitoreo permanente de los niveles de voltaje entregado por los rectificadores, de tal manera, que si en un momento dado los rectificadores dejan de funcionar, el panel distribuidor conmuta hacia los bancos de baterías. También monitorea los niveles de carga de las baterías, para continuar o no con el proceso de carga.

El banco de baterías entrega energía a los equipos de telecomunicaciones en caso de un corte de electricidad en la red AC, mediante la conmutación que realiza el sistema de distribución.

Según el consumo de corriente de los equipos DC, se selecciona el banco de baterías con la capacidad adecuada, tal que proporcione la alimentación por un determinado tiempo.

3.5.9. PROTECCIÓN ELÉCTRICA

Toda instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores y los aparatos conectados a ellos. Existen muchos tipos de protecciones, que pueden hacer a una instalación eléctrica completamente segura ante cualquier contingencia, pero hay tres que deben usarse en todo tipo de instalación, ya sea de baja o alta tensión. Estas tres protecciones eléctricas son:

- Protección contra cortocircuitos.
- Protección contra sobrecargas.
- Protección contra electrocución.

3.5.10. AIRE ACONDICIONADO

Equipo indispensable para mantener todo el ambiente del cuarto de equipos de una estación radiobase a una temperatura y humedad de operación adecuada.
De acuerdo a la disipación calorífica (Btu/h), tanto de los aparatos instalados en el cuarto de equipos o shelter, como de consideraciones de disipación producidas por el personal de mantenimiento o posible inclusión de más equipos dentro de la habitación, se selecciona el dispositivo acondicionador ambiental, de manera que el calor y la humedad se mantengan en niveles adecuados dentro de la habitación.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE LA COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR EN LA BANDA DE LOS 1900 MHZ CON LA TECNOLOGÍA CDMA 2000 1X-RTT PARA LA CIUDAD DE AMBATO

4.1. INTRODUCCIÓN

A partir de una estimación inicial de la demanda y una proyección a corto plazo de abonados en la ciudad de Ambato, se aplicará el diseño de la cobertura de telefonía móvil celular, siguiendo la secuencia de actividades antes descritas en los capítulos 2 y 3, tomando en cuenta los factores que intervienen en cada uno de los métodos de diseño. La interpretación gráfica o simulación de la cobertura proyecta un resultado de acuerdo a los requerimientos del diseño, sin embargo, la herramienta utilizada en la simulación permite modificar la red propuesta para mejorar y reubicar las radio bases, de tal manera que se pueda proveer de una buena calidad de señal en la ciudad.

Satisfechos los resultados de simulación, el siguiente paso será, realizar la inspección de los sitios propuestos para la edificación de las radio bases, considerando la mejor opción para este propósito. Los trabajos de infraestructura deben ser apropiados en cada sitio escogido para un correcto funcionamiento de los equipos. En general, la implantación y el equipo de telecomunicaciones de las radio bases es similar, porque todas en este caso, necesitan de la siguiente infraestructura, cerramiento, cuarto de equipos, torre, energización, aire acondicionado; y, por otro lado, las antenas, unidades RBS, microondas, cableado, accesorios son los referentes al equipamiento de telecomunicaciones.

Los resultados de la propuesta serán evidenciados en cada uno de los planos; de la ciudad, de cobertura, estructurales, de tal manera que tenga concordancia con el proceso de cobertura.

4.2. ANTECEDENTES

A partir de diciembre del 2003, ingresó al Ecuador una operadora de telefonía móvil celular que brinda sus servicios en la banda de los 1900 MHz con tecnología CDMA2000 1x.

Por lo tanto, en la actualidad existen tres operadoras de telefonía móvil celular. Las otras dos operadoras brindan sus servicios en la banda de 800 MHz con tecnologías CDMA 2000 y GSM.

La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTEL), en una publicación señaló que a Diciembre del 2004, a la operadora de 1900 MHz le correspondió un índice del 2% del mercado nacional de telefonía móvil celular, es decir, 107.000 abonados aproximadamente, que estuvieron repartidos entre las ciudades de Quito y Guayaquil.

El objetivo del proyecto es elaborar el diseño de cobertura para la ciudad de Ambato a partir de una estimación de la demanda inicial y una proyección a corto plazo (3 años).

4.3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA PARA LA CIUDAD DE AMBATO

Un valor más apropiado de la demanda inicial de usuarios se puede evidenciar a través de un estudio de mercado; pero este procedimiento implica realizar encuestas a una muestra poblacional de la cuidad de Ambato; lo que significa elaborar un plan estadístico para obtener los resultados requeridos, sin embargo no es esta la finalidad del proyecto.

Como ya se mencionó, en diciembre del 2004, la empresa tenía 107.000 abonados, el incremento mensual promedio durante todo el año fue de 9.000 abonados aproximadamente. Aspirando que ese crecimiento mensual se mantenga durante todo el año 2005, solamente en las ciudades de Quito y Guayaquil, al cierre del año se estimaría un incremento de 108.000 abonados.

Según datos publicados, se señala que la empresa anhela superar los 300.000 clientes a finales de año, incluyendo las ciudades de: Manta, Portoviejo, Ibarra, Latacunga, Ambato,

Riobamba, Cuenca y Loja. Con estos datos se realizan los siguientes cálculos para estimar la demanda inicial en la cuidad de Ambato.

Abonados en el 2004	107.000
Crecimiento mensual durante el 2005	9.000
Incremento de abonados de Quito y Guayaquil al final del 2005	108.000
Abonados de Quito y Guayaquil al final del 2005	215.000
Meta de abonados	300.000

Tabla 4.1. Proyección de Abonados

Consecuentemente, el resto de abonados que se distribuirán entre las otras ciudades son:

$300.000 - 215.000 = 85.000$ abonados al final del año.

Si el número de ciudades restantes es 8, los abonados finales que corresponden a cada ciudad son de 10.625.

Para conseguir los 10.625 abonados a final de año en la ciudad de Ambato, se requiere una demanda inicial de 8.000 abonados y un incremento anual del 33%. El incremento de abonados mensuales dependerá de una amplia publicidad, además de ofrecer promociones y promover una adecuada estrategia de mercadeo.

4.4. PROYECCIÓN ANUAL DE CRECIMIENTO DE ABONADOS

El crecimiento anual de abonados será proyectado a corto plazo (3 años), y se ilustra en la siguiente tabla:

Año	Número de abonados iniciales	Índice de crecimiento anual	Total de abonados a fin de año
2005	8.000	33%	10.640
2006	10.640	33%	14.151
2007	14.151	33%	18.821

Tabla 4.2. Proyección anual de abonados

4.5. CÁLCULO DEL NÚMERO DE RADIO BASES PARA LA COBERTURA EN LA CIUDAD DE AMBATO

La ciudad de Ambato tiene una superficie de 68.8 Km^2 y considerando que los abonados iniciales son 8.000, se realizan los siguientes cálculos para determinar el número de radio bases necesarias para cubrir ésta demanda y la proyección de crecimiento.

4.5.1. DISEÑO POR COBERTURA

4.5.1.1. Número de Radio Bases Según El Enlace Reverso

$$PIRE_{MS} = 23dBm$$

$$R_{Sen} = 10\log(KT) + (NF)_{dB} + \left(\frac{Eb}{No} + 10\log(R)\right)_{dBo}$$

$$R_{Sen}[dB] = 10\log(1.38 * 10^{-23} * 290) + 5 + 4.7 + 10\log(9600)$$

$$R_{Sen}[dB] = -154$$

$$R_{Sen}[dBm] = -124$$

Donde:

Rsen: Sensibilidad del receptor de la estación móvil

$$MPPT = PIRE_{MS} - Rsen + G_{ARBS} - L_{cable} - L_{pen} - L_{fade} + G_{SHO} - L_{body}$$

$$MPPT[dB] = 23 + 124 + 15 - 2.98 - 0 - 10.3 + 4.1 - 3$$

$$MPPT[dB] = 151.82$$

Modelo Cost-231

L_{50} (urbano) [dB] = 46.3 + 33.9 Log f_c – 13.82 Log h_{te} – a(h_{re}) + (44.9 – 6.55 Log h_{te}) Log d + C_M

$a(h_{re})\ [dB] = 3.2[\text{Log}\ (11.75h_{re})]^2 - 4.97$

$a(h_{re})\ [dB] = 3.2[\text{Log}\ (11.75*2)]^2 - 4.97$

$a(h_{re})\ [dB] = 1.04$

L_{50} (urbano) = MPPT

$$151.82 = 46.3 + 33.9\log(1900) - 13.82\log(30) - 1.04 + [44.9 - 6.55\log(30)] * \log d + 0$$

$$d \approx 3 \quad km$$

$$A_{celda} = \frac{3 * \sqrt{3 * R^4}}{2} = \frac{3 * \sqrt{3 * 3^4}}{2}$$

$$A_{celda} = 23.38 \quad km^2$$

$$\#RBS = \frac{A_{Ciudad}}{A_{Celda}} = \frac{68.8 \quad km^2}{23.38 \quad km^2}$$

$$\boxed{\#RBS = 3}$$

4.5.1.2. Número de Radio Bases Según El Enlace Directo

$$PIRE_{BS}[dB] = P_{TxBS} + G_A - L_{cables}$$

$$P_{TxBS} = P_{Pilot} + P_{Paging} + P_{Sync} + P_{Traffic}$$

$$P_{TxBS} = 5.89 \text{ W}$$

$$MPPT[dB] = PIRE_{BS} + G_{Rx} - L_{Rx} - S_{Rx} - M_T$$

$$MPPT[dB] = 19.72 + 4.1 - 3 + 149.38 - 11.40$$

$$MPPT[dB] = 158.8$$

Modelo Cost-231

L_{50} (urbano) [dB] = 46.3 + 33.9 Log f_c – 13.82 Log h_{te} – $a(h_{re})$ + (44.9 – 6.55 Log h_{te}) Log d + $\mathbf{C_M}$

$a(h_{re})\ [dB] = 3.2[\text{Log}\ (11.75h_{re})]^2 - 4.97$

$a(h_{re})$ [dB] = $3.2[\text{Log}(11.75*2)]^2 - 4.97$

$a(h_{re})$ [dB] = 1.04

L_{50} (urbano) = MPPT

$$158.8 = 46.3 + 33.9\log(1900) - 13.82\log(30) - 1.04 + [44.9 - 6.55\log(30)] * \log d + 0$$

$$d \approx 4.44 \quad km$$

$$A_{celda} = \frac{3 * \sqrt{3 * R^4}}{2} = \frac{3 * \sqrt{3 * 4.44^4}}{2}$$

$$A_{celda} = 51.22 \quad km^2$$

$$\#RBS = \frac{A_{Ciudad}}{A_{Celda}} = \frac{68.8 \quad km^2}{51.22 \quad km^2}$$

$$\boxed{\#RBS = 2}$$

4.5.2. DISEÑO POR CAPACIDAD

4.5.2.1. Número de Radio Bases Según El Enlace Reverso

$$N = \frac{\left(\frac{W}{R}\right)(1-\eta)}{\left(\frac{Eb}{Io}\right)(1+f)\nu_f} F = \frac{\left(\frac{1.23 \quad MHz}{9.6 \quad kbps}\right)(1-0.05)}{5(1+0.55)0.4} 0.75$$

$N = 30$ abonados

Con un GOS del 2%, según la tabla B de Erlang, se obtiene una capacidad de 21.93 Erl.

Los usuarios se distribuyen en:

Usuario	Tráfico Promedio por usuario(mE)
Prepago	15
Postpago	30

Tabla 4.3. Tráfico promedio de usuarios prepago y postpago

Estos resultados se justifican en base a los registros de medición de tráfico.

Los usuarios de datos son en promedio de 1% a 3% de los abonados de una red, por lo que no tienen mucho impacto en el diseño inicial. Además, en CDMA 2000, un usuario de datos es considerado como un usuario de voz, porque usa un mismo recurso en canales fundamentales y la velocidad se incrementa o disminuye por medio de canales suplementarios, que son dedicados exclusivamente a los abonados de datos.

Estimando un factor de hora pico "fhp" del 40% y una cantidad de usuarios al final del tercer año de 18.821, se tiene que en la hora pico, acceden a la red:

$$18.821 * 0.4 = 7.530 \quad abonados$$

Con esta cantidad de abonados, se dimensiona el número de radio bases requeridos hasta el tercer año, correspondiendo un 70% de abonados prepago y un 30% de abonados postpago.

Por lo tanto, el tráfico que se genera en los abonados prepago y postpago es:

Usuario	**Cantidad**	**Tráfico [Erlangs]**
Prepago	5.271	79
Postpago	2.259	68
Erlangs Requeridos		147

Tabla 4.4. Erlangs requeridos

$$\#RBS = \frac{Erlangs \quad requeridos}{Erlangs \quad por \quad RBS} = \frac{147 Erl}{21.93 Erl}$$

$$\boxed{\#RBS = 7}$$

4.5.2.2. Número de Radio Bases Según El Enlace Directo

$$N = \frac{\frac{W}{R}}{HRF \cdot \frac{Eb}{Io} \cdot v_f}(1-\eta) = \frac{\frac{1.23MHz}{9.6kbps}}{2 \cdot 5 \cdot 0.4}(1-0.05)$$

$N = 31$ abonados

Con un GOS del 2%, según la tabla B de Erlang, se obtiene una capacidad de 22.83 Erl.

$$\#RBS = \frac{Erlangs\ \ requeridos}{Erlangs\ \ por\ \ RBS} = \frac{147Erl}{22.83Erl}$$

$$\boxed{\#RBS = 7}$$

$$A_{RBS} = \frac{A_{Ciudad}}{\#RBS} = \frac{68.8km^2}{7}$$

$$\boxed{A_{RBS} = 9.83km^2}$$

4.6. DISTRIBUCIÓN DE RADIO BASES EN EL PLANO DE LA CIUDAD DE AMBATO

De conformidad con el número de radio bases calculadas por los dos métodos de diseño, se escogerá el mayor número de radio bases correspondiente a cada método; esto es, 3 radio bases en el diseño por cobertura y 7 radio bases en el diseño por capacidad.

Consecuentemente se distribuirán las radio bases en el plano de la ciudad para cada uno de los métodos de diseño, tomando en cuenta, que esta distribución corresponde a la ubicación de radio bases de tipo omnidireccional.

Ver Anexo B

Los dos métodos de diseño, serán simulados y analizados para luego seleccionar la mejor alternativa de cobertura, opción que permitirá continuar con lo determinado en el proceso de diseño de cobertura celular.

4.7. EL SIMULADOR TEMS

Herramienta diseñada por Ericsson para la simulación de la cobertura, emplea mapas topográficos digitalizados sobre los que se pueden ubicar las radio bases necesarias, detallar características propias de cada radio base, tales como, altitud de las torres, orientación de las antenas, el tipo de antena.

El simulador utiliza el método Cost – 231 con algunas modificaciones propias del fabricante, esta combinación permite obtener resultados cercanos a la realidad.

La simulación se manifiesta a través de colores, los que significan cierto nivel de señal y garantizan el tipo de cobertura (interior o exterior) que se podría tener.

Color	Nivel de señal [dBm]	Penetración
	– 7.39	Exterior e interior
	–7.39 – -5.39	Exterior e interior en menor grado
	–5.39 – -1.39	Exterior
	–1.39 – 2.61	Exterior en menor grado
	2.61 – 6.61	No garantizada
	6.61 – 12.61	No garantizada
	12.62 –	Sin señal

Tabla 4.5. Significado de colores del simulador TEMS

4.8. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL DISEÑO POR COBERTURA

El diseño por cobertura dio como resultado 3 radio bases, suficientes para brindar cobertura a la ciudad de Ambato, estas radio bases son:

Radio Base		Número de sectores
Identificación	**Nombre**	
AMB001	Pinllo	2
AMB002	Huachi Chico	3
AMB003	Mayorista	2

Tabla 4.6. Radio bases del diseño por cobertura

Se ubica cada radio base propuesta con la sectorización apropiada de tal forma que brinde cobertura a la ciudad.

N° de portadoras		1	
Nombre	**Sector**	**Apuntamiento de antena [°]**	**Altura de torre [m]**
Pinllo	AMB001– α	90	30
	AMB001– β	180	
Huachi Chico	AMB002– α	30	30
	AMB002– β	135	
	AMB002– γ	270	
Mayorista	AMB003– α	300	30
	AMB003– β	160	

Tabla 4.7. Configuración de radio bases

De ésta manera se logra brindar mejor cobertura a la ciudad de Ambato, ubicando las torres en lugares altos con buena línea de vista y sin obstrucciones cercanas, la simulación muestra los resultados obtenidos para el diseño por cobertura.

Ver Anexo C

Como podemos apreciar en la simulación, las tres radio bases sectorizadas no son suficientes para cubrir toda el área urbana, debido a los accidentes geográficos que presenta la superficie de la ciudad.

El diseño por cobertura tiene un buen resultado cuando se aplica a ciudades llanas o sin accidentes geográficos pronunciados; por tal motivo, se generan zonas de sombra o con mala calidad de señal, existen lugares donde la cobertura es buena, garantizando la penetración de la señal en interiores y exteriores, pero en forma general el diseño por cobertura aplicada a la ciudad de Ambato tiene muchas deficiencias.

4.9. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL DISEÑO POR CAPACIDAD

El número de radio bases obtenidas en el diseño por capacidad es 7, las que son suficientes para brindar cobertura con calidad de señal a la ciudad de Ambato, estas son:

Radio Base		Número de sectores
Identificación	Nombre	
AMB001	La Concepción	3
AMB002	Matriz	3
AMB003	Miraflores	3
AMB004	Miñarica	3
AMB005	Bellavista	3
AMB006	Huachi Chico	3
AMB007	Mayorista	3

Tabla 4.8. Radio bases del diseño por capacidad

De igual forma, se procede a ubicar las radio bases propuestas con la sectorización adecuada para brindar buena cobertura a la ciudad.

N° de portadoras		1	
Nombre	**Sector**	**Apuntamiento de antena [°]**	**Altura de torre [m]**
La Concepción	AMB001– α	35	30
	AMB001– β	190	
	AMB001– γ	280	
Matriz	AMB002– α	55	30
	AMB002– β	175	
	AMB002– γ	300	
Miraflores	AMB003– α	325	30
	AMB003– β	55	
	AMB003 – γ	145	
Miñarica	AMB004– α	40	30
	AMB004– β	160	
	AMB004– γ	290	
Bellavista	AMB005– α	10	36
	AMB005 – β	190	
	AMB005 – γ	275	
Huachi Chico	AMB006 – α	10	36
	AMB006 – β	90	
	AMB006 – γ	175	
Mayorista	AMB007 – α	350	36
	AMB007 – β	80	
	AMB007 – γ	160	

Tabla 4.9. Configuración de radio bases

Se realiza la simulación considerando que cada radio base tiene 3 sectores y no solamente 1 sector de tipo omnidireccional, porque de acuerdo a la recomendación, en zonas urbanas, se debe utilizar antenas direccionales con 65° de apertura, además que las antenas direccionales poseen mayor ganancia que una antena omnidireccional.

Ver Anexo C

Análisis de Resultados

Nuevamente los accidentes geográficos impiden tener una buena calidad de señal en toda la superficie, sin embargo, en la simulación podemos observar que con las 7 radio bases se obtiene cobertura con una adecuada señal para los abonados, esta cobertura garantiza penetración exterior e interior a un buen porcentaje de las edificaciones en la superficie de la ciudad; pero existen zonas con pobre cobertura que pueden ser mejoradas, lo que implicaría una mayor inversión en radio bases y para la demanda proyectada no justifica esta inversión.

4.10. ESTUDIO DE LOS SITIOS

Se concluye que la simulación con 7 radio bases sectorizadas es la más apropiada, ahora bien cada localidad propuesta en la simulación debe ser previamente inspeccionada para tener un criterio más real en donde sería edificada la estación radio base. Vale la pena recordar que el sitio adecuado puede estar en un rango igual al 10% del radio de la celda, por lo tanto, se deberá buscar el mejor sitio comprendido en esta dimensión en caso de que el lugar propuesto no sea idóneo para edificar una radio base. El lugar preferido es un lote de terreno, porque la empresa operadora de telefonía móvil puede adquirir este lote y evitar acuerdos con los dueños de las propiedades en caso de arriendo, por este motivo, se propondrá que las radio bases se edifiquen en lotes de terreno que se hallen actualmente en venta y que cumplan las normas municipales emitidas para el cantón Ambato, es decir, que el área mínima de un lote de terreno sea de 200 metros cuadrados. Los sectores donde se

sugiere la edificación de las radio bases están atendidos con los servicios básicos de energía eléctrica, agua potable y alcantarillado.

A continuación se realizará un diagrama de la ubicación de cada estación propuesta, se expondrá las fotografías de los sitios adecuados con una breve descripción de la zona donde se encontrará ubicada la radio base.

4.10.1. RADIO BASE CONCEPCIÓN

Ubicación del sitio

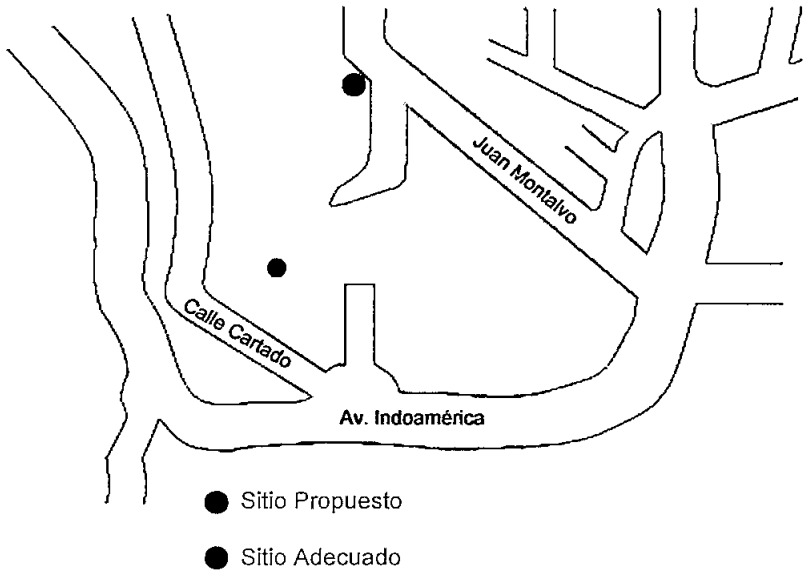


Figura 4.1. Ubicación de la Radio Base Concepción

El sitio se encuentra en la calle Juan Montalvo, aproximadamente a 50 metros del lugar propuesto, es un lote de terreno de 288 metros cuadrados. La Concepción es un ambiente mixto, es decir, hay poca presencia de viviendas y gran parte del sector son áreas deshabitadas o dedicadas al cultivo, por ende, la edificación de mayor altura no sobrepasa los 8 metros.

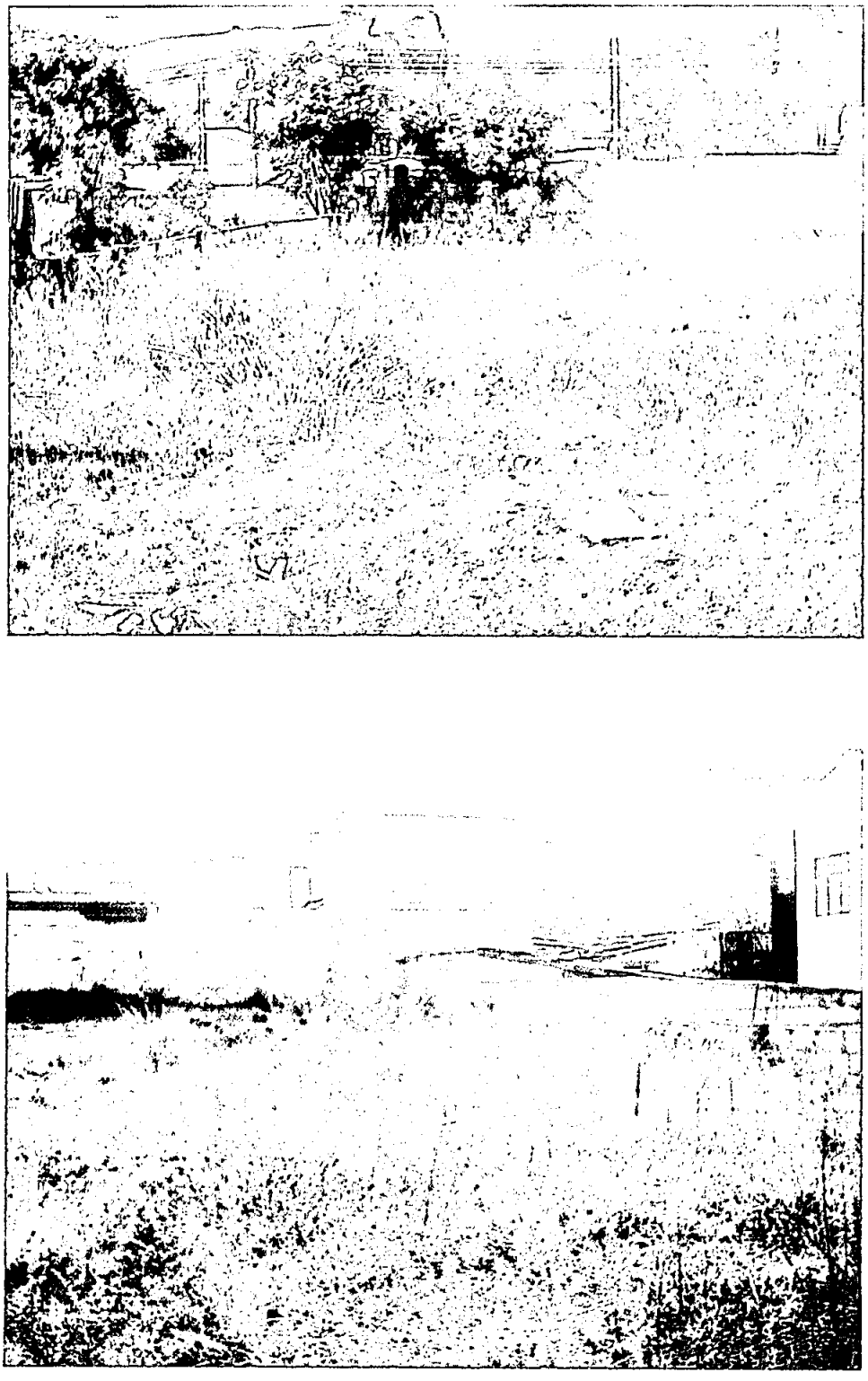


Figura 4.2. Fotografías del sitio La Concepción

4.10.2. RADIO BASE MATRIZ

Ubicación del sitio

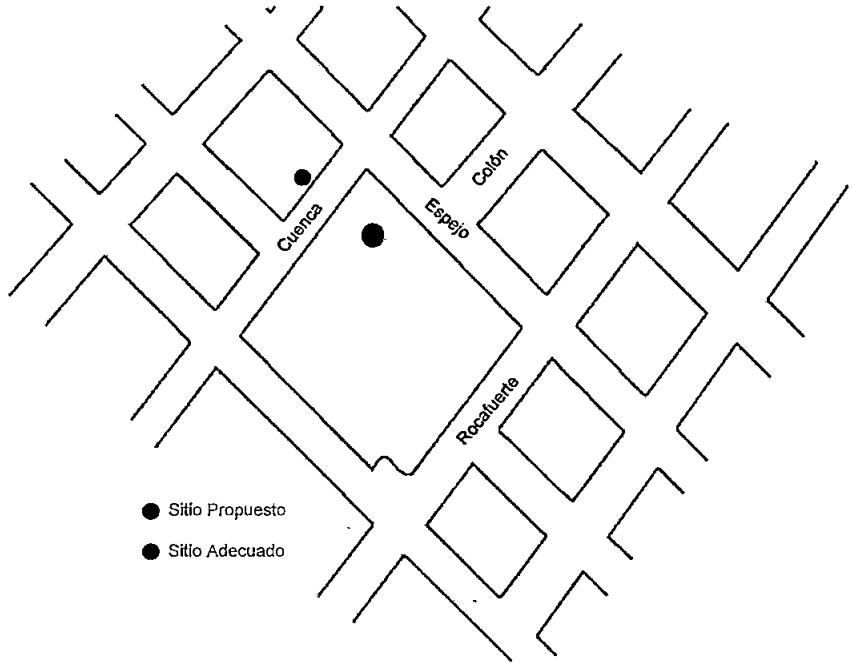


Figura 4.3. Ubicación de la Radio Base Matriz

El lugar se encuentra en las calles Cuenca y Espejo, aproximadamente a 10 metros del lugar propuesto. Es un lote de terreno de 300 metros cuadrados en donde anteriormente existía una casa de bareque. Por ubicarse en el centro de la urbe, el sitio está rodeado de las edificaciones más importantes, como son: el I.M. de Ambato, Corte Superior de Justicia, Prefectura, Bancos, Asociación de Empleados, La Catedral, entre otros, además de la mayor concentración poblacional, especialmente en los días de feria. Estas razones exigen que se brinde mejor cobertura, tanto interior como exterior y mayor capacidad para evitar congestión o perdida de llamadas.

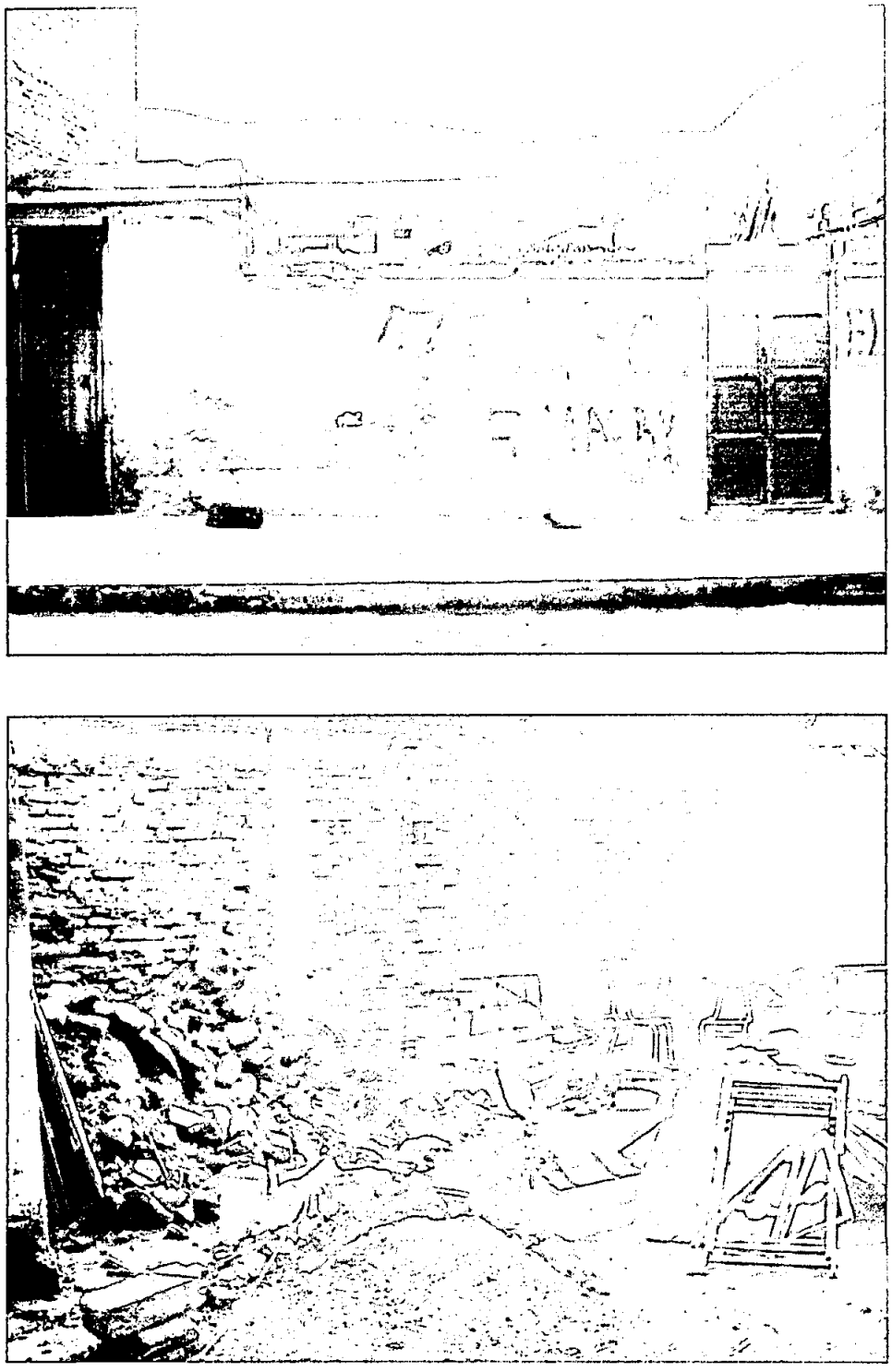


Figura 4.4. Fotografías del sitio La Matriz

4.10.3. RADIO BASE MIRAFLORES

Ubicación del sitio

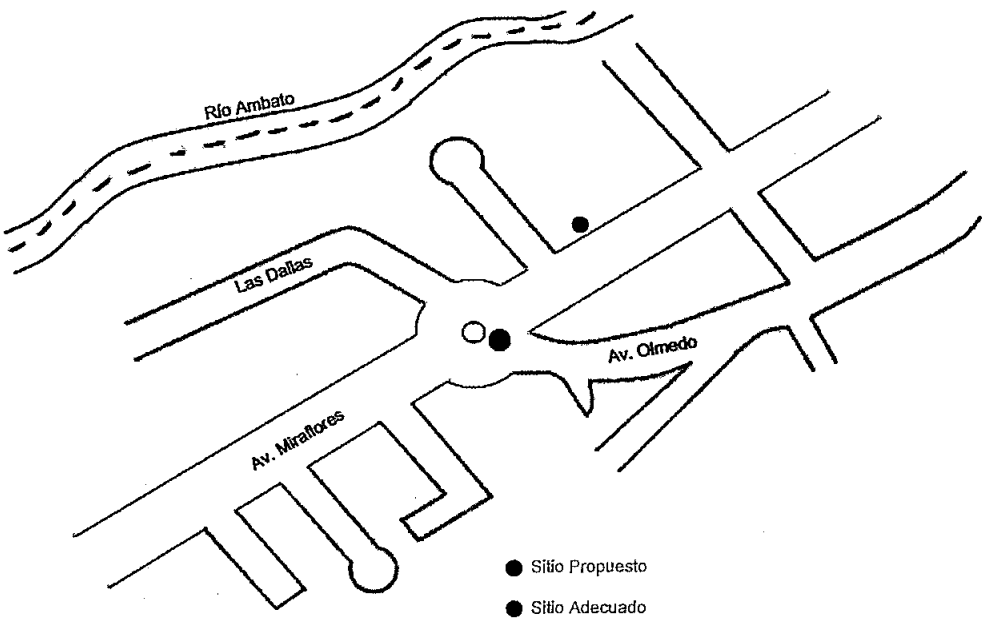


Figura 4.5. Ubicación de la Radio Base Miraflores

El lugar se encuentra en la avenida Miraflores, aproximadamente a 30 metros del lugar propuesto. Es un lote de terreno de 300 metros cuadrados en un sector residencial y turístico, en donde están asentados hoteles, hosterías, clubs, instituciones educativas. La mayor altura de las edificaciones cercanas es de alrededor de 15 metros.

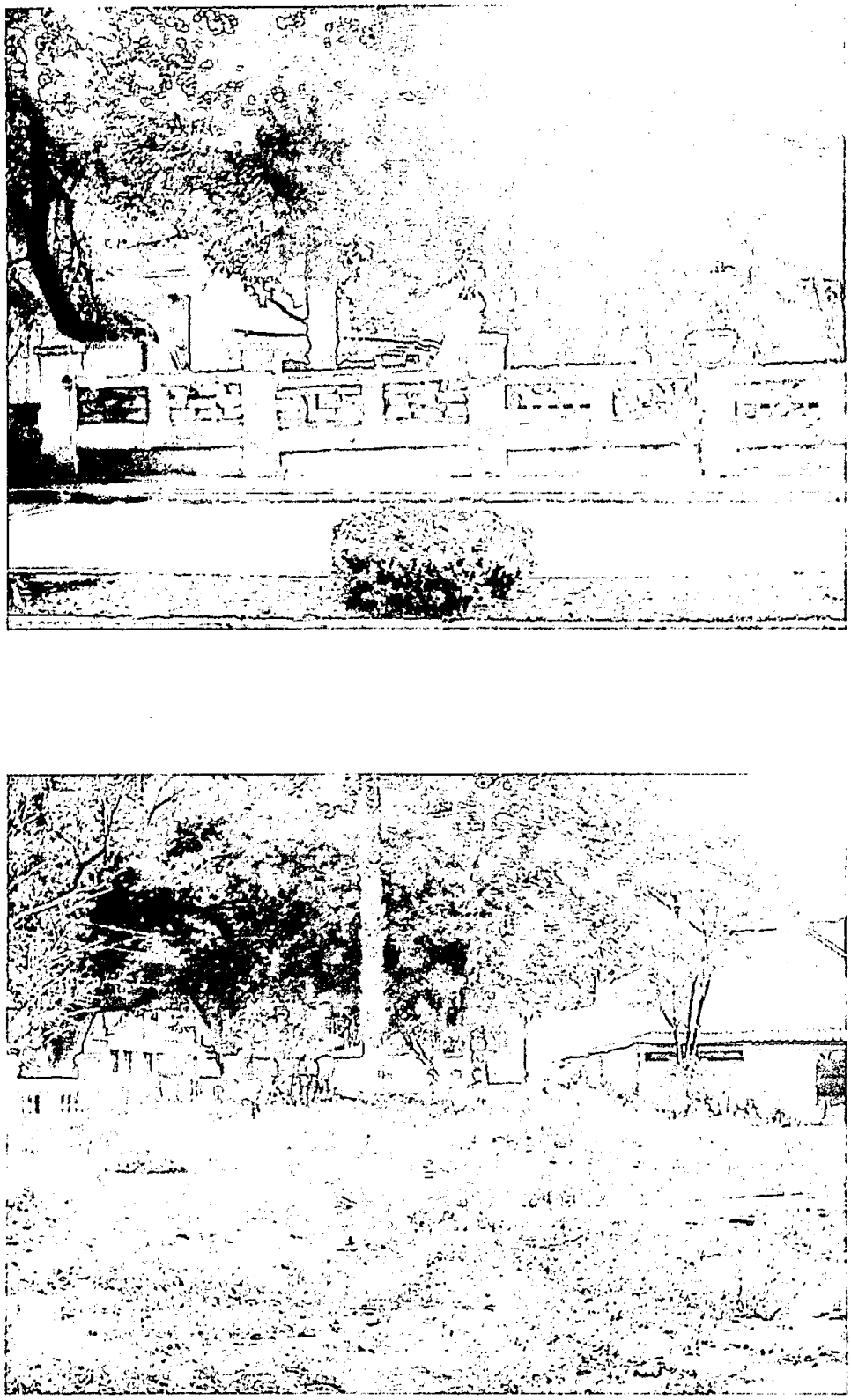


Figura 4.6. Fotografías del sitio Miraflores

4.10.4. RADIO BASE MIÑARICA

Ubicación del sitio

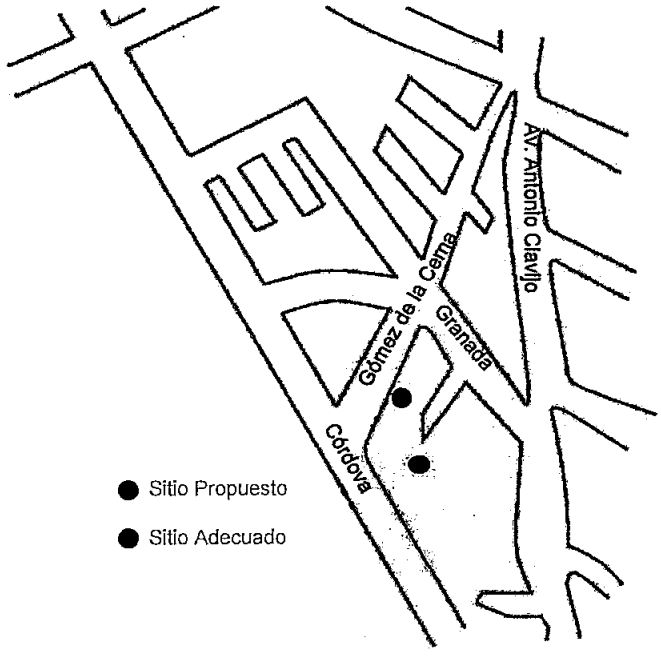


Figura 4.7. Ubicación de la Radio Base Miñarica

El lugar se encuentra en las calles Gómez de la Cerna, entre Córdova y Granada, aproximadamente a 30 metros del lugar propuesto. Es un lote de terreno de 300 metros cuadrados, adyacente a los tanques Panimboza de la Empresa de Agua Potable de Ambato, asentado en un sector residencial, en donde la mayor altura de las edificaciones está alrededor de 15 metros en un conjunto habitacional cercano. Actualmente en el lote, se encuentra un cerramiento con una puerta de acceso vehicular, esta infraestructura puede ser utilizada para la adecuación de la estación radio base Miñarica.

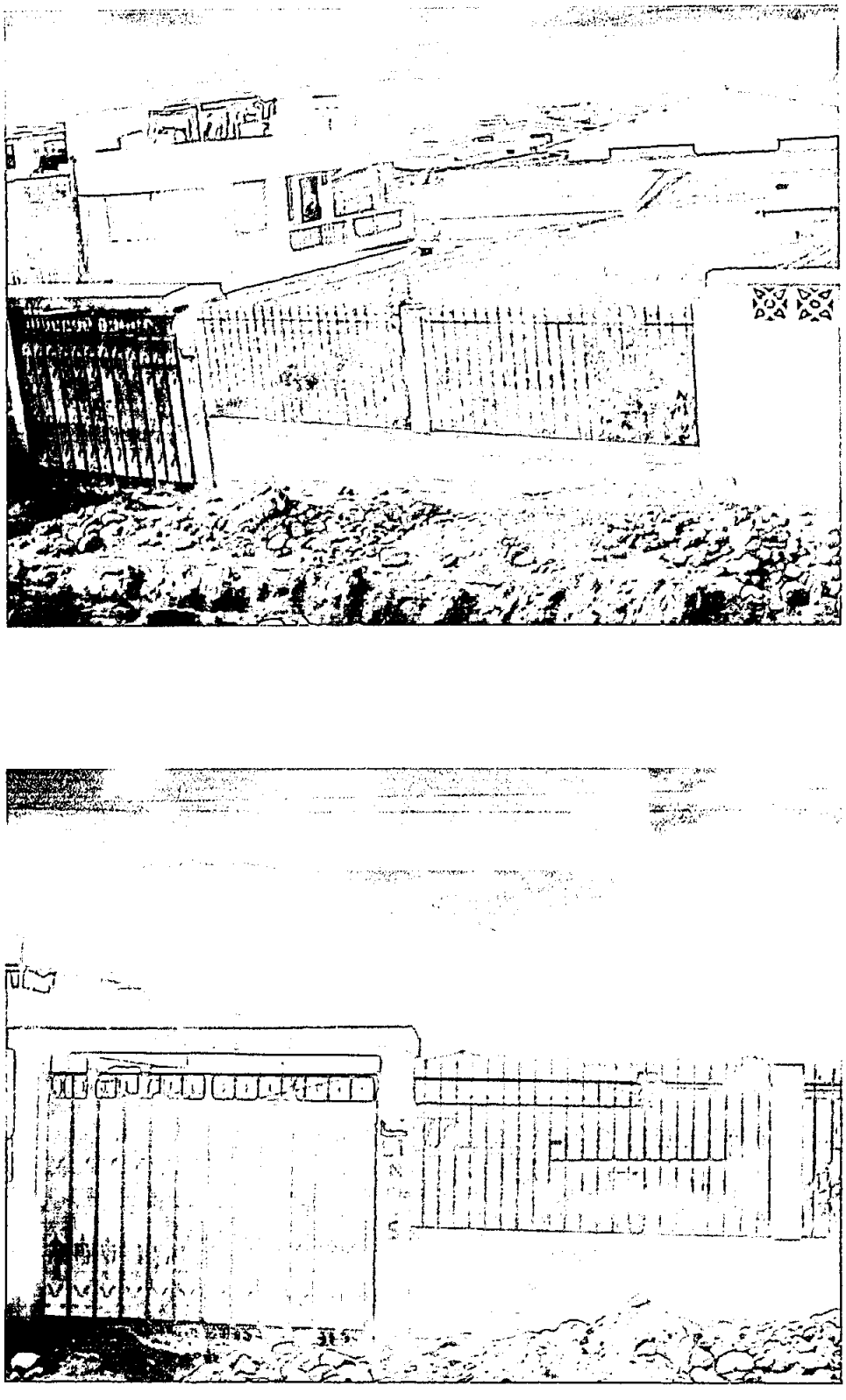


Figura 4.8. Fotografías del sitio Miñarica

4.10.5. RADIO BASE BELLAVISTA

Ubicación del sitio

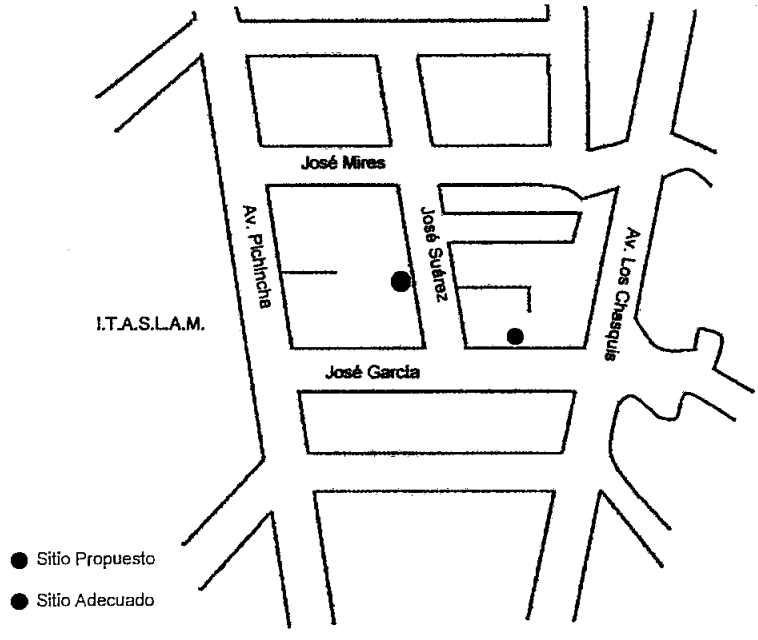


Figura 4.9. Ubicación de la Radio Base Bellavista

El lugar se encuentra en las calles José García, entre José Suárez y Av. Los Chasquis, aproximadamente a unos 80 metros del lugar propuesto. Es un lote de terreno de 300 metros cuadrados asentado en un lugar diverso, pues a los alrededores tenemos instituciones educativas, como el I.T.A.S.L.A.M, residencias y plazas, como la Simón Bolívar; la mayor altura de las edificaciones aledañas es de 9 metros. El terreno posee cerramiento y puede ser utilizado como parte de la infraestructura que se va a realizar.

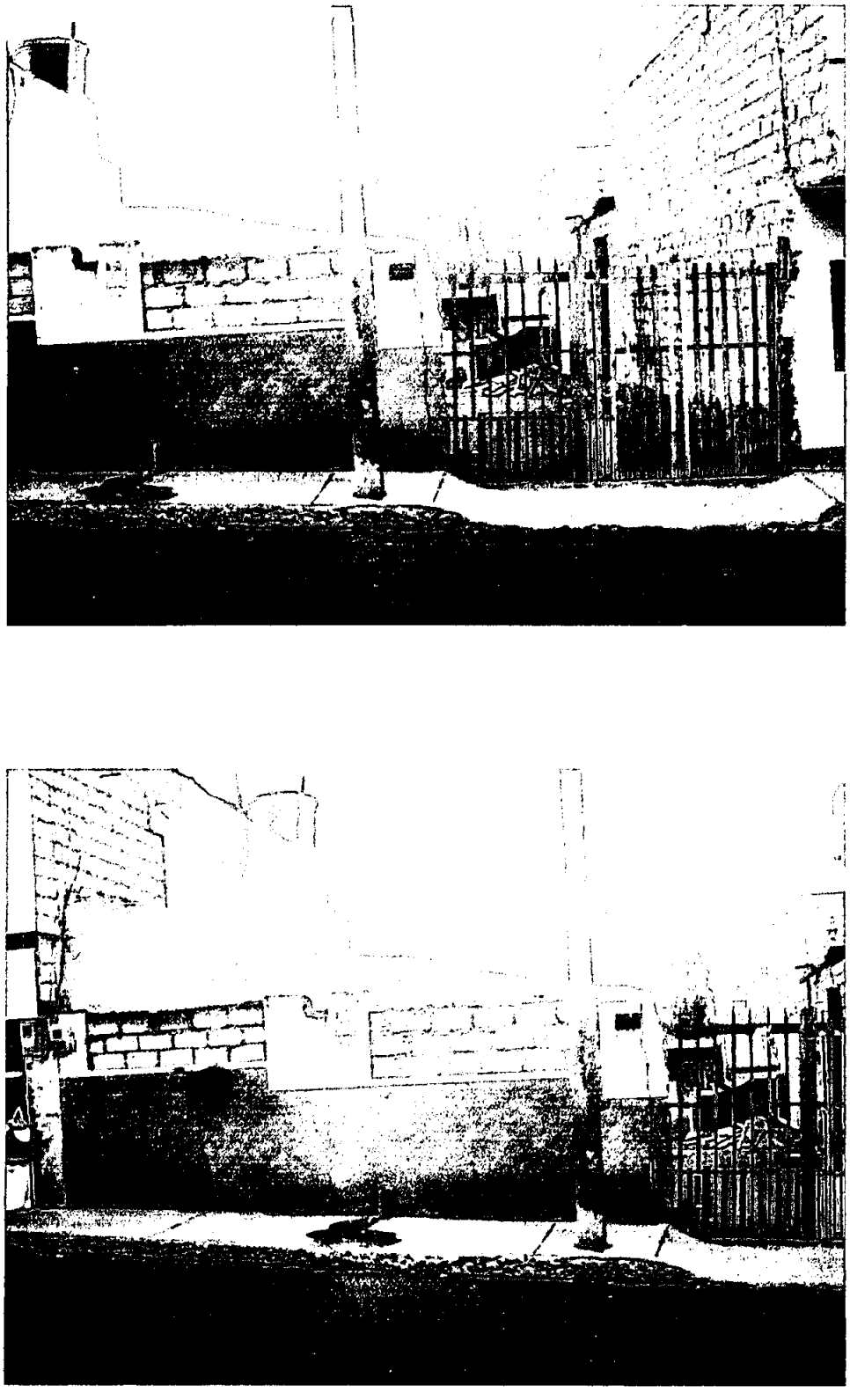


Figura 4.10. Fotografías del sitio Bellavista

4.10.6. RADIO BASE HUACHI CHICO

Ubicación del sitio

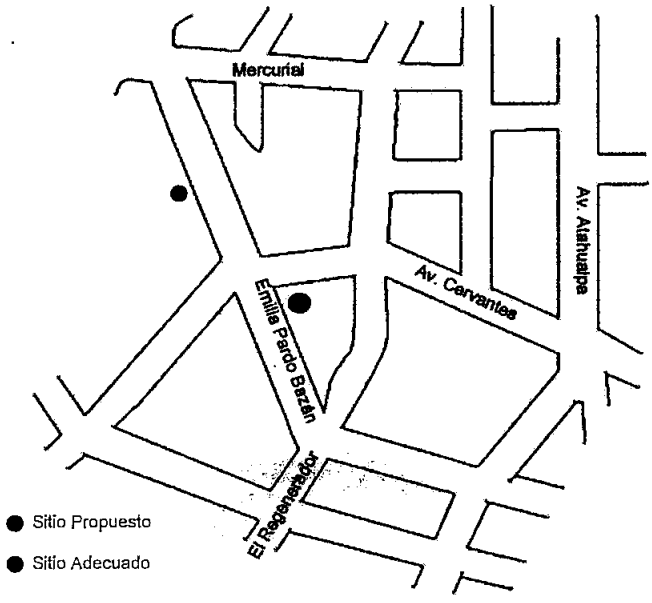


Figura 4.11. Ubicación de la Radio Base Huachi Chico

El lugar se encuentra en las calles Emilia Pardo Bazán, entre Mercurial y Av. Cervantes, aproximadamente a 40 metros del lugar propuesto. Es un lote de terreno de 288 metros cuadrados asentado en un lugar residencial. La zona es un ambiente mixto, debido a la presencia de áreas dedicadas al cultivo con varias viviendas aledañas y una altura de las edificaciones que no sobrepasan los 9 metros.

Figura 4.12. Fotografía del sitio Huachi Chico

4.10.7. RADIO BASE MAYORISTA

Ubicación del sitio

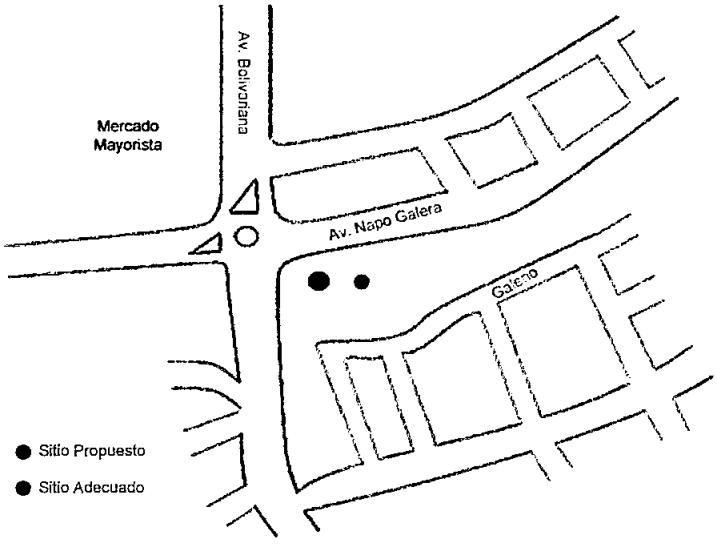


Figura 4.13. Ubicación de la Radio Base Mayorista

El lugar se encuentra entre las calles Galeno y Av. Napo Galera, aproximadamente a 15 metros del lugar propuesto. Es un lote de terreno de 288 metros cuadrados en un sector poco poblado pero altamente comercial, debido a que cercanamente se encuentra el mercado mayorista, varias industrias y bodegas.

Figura 4.14. Fotografía del sitio Mayorista

4.11. PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

Al haber escogido lotes de terreno para la implantación de las radio bases, las propuestas de infraestructura son semejantes unas con otras. La estructura civil es un campo ajeno a las telecomunicaciones, pero a la vez muy importante para que el equipamiento se encuentre seguro y pueda funcionar de manera adecuada y finalmente poder cumplir con el objetivo de brindar un servicio de telefonía móvil celular apropiado para el usuario. Es por esto que también debemos involucrarnos en varios aspectos relacionados a una obra civil, tales como, las condiciones que debe reunir, el procedimiento que debe seguir, más no en la manera que se debe hacer. Entonces, una infraestructura civil para estaciones radio base estaría comprendida, entre lo más importante, por los siguientes aspectos:

1. Obras preliminares
2. Cerramiento
3. Shelter o cuarto de equipos
4. Torre
5. Energización
6. Aire acondicionado

En primera instancia, las obras civiles se diferencian por los trabajos preliminares a realizar en cada lote de terreno, porque ningún espacio es igual a otro en el sentido de que, mientras en un sitio se deba desbancar mucho para nivelar el terreno, en otro es posible que se tenga que retirar plantaciones, como árboles, o realizar demoliciones a estructuras innecesarias. Por lo tanto, las obras preliminares tienen un impacto directo en el costo de la radio base, debido a que se debe cumplir con el trazado y replanteo, limpieza de capa vegetal, desalojo, caseta de oficina, bodega y guardianía, instalaciones provisionales, realización de drenajes y la obtención de los permisos municipales.

El cerramiento, es parte necesaria para delimitar la estación radio base y brindar seguridad en todo el perímetro. El levantamiento de un cerramiento comprende trabajos de movimiento de tierras, cimientos, muros, enlucidos, puerta de acceso y pintura, es una estructura que tiene mucha importancia porque de esta depende que personas ajenas no ingresen a la implantación o que produzca insatisfacción a los vecinos.

El shelter, estructura que guardará en su interior a los equipos de telecomunicaciones, de energización y de refrigeración, debe reunir condiciones necesarias para el correcto funcionamiento de estos, los trabajos para la construcción de un shelter son, movimiento de tierras, cimentación, edificación, instalaciones completas y acabados, trabajos que no solamente se deben cumplir para un cuarto de equipos de telefonía móvil celular, sino, para cualquier habitación en cuyo interior se encuentre un valioso equipamiento que permita brindar algún tipo de comunicación.

La torre, es una estructura cuya construcción la dejaremos para los entendidos en el asunto, pero lo que nos interesa es que tenga la suficiente consistencia para soportar a las antenas, conductores y demás implementos que serán instalados, también mantenga resistencia a las diferentes condiciones climáticas y que proporcione total seguridad al personal que acceda a esta estructura.

Es indispensable que la energización DC y la ventilación cumplan con los requerimientos de los equipos de telecomunicaciones, de esta manera garantizamos su funcionamiento y la vida útil.

En el *Anexo D* se expone por medio de planos los aspectos de infraestructura anteriormente mencionados. Los planos estructurales se organizan de la siguiente forma: implantación, planta, fachada frontal y lateral del shelter, torre y diagrama unifilar, tomando en cuenta los aspectos que son generales para todas las estaciones y los aspectos específicos para una o varias estaciones. De esta manera, el proyecto de infraestructura que se propone es apropiado y se ajusta a las necesidades para que, si fuera el caso, pueda ser aplicado parcial o totalmente.

4.12. PLANIFICACIÓN DEL EQUIPAMIENTO

Existen varias alternativas entre los fabricantes de los equipos de telecomunicaciones. Lamentablemente no todos los fabricantes tienen una sucursal de ventas y soporte en el país, lo que dificulta conocer más a fondo las características de un equipo y su costo; además de que estos datos solamente son revelados en negociaciones con la empresa operadora interesada y no a personas particulares. Por lo tanto, de la investigación realizada acerca de los fabricantes que han brindado equipamiento para las radio bases que operan con CDMA 2000 en la banda de 1900 MHz en el Ecuador son:

- KATHREIN, para antenas de cobertura
- ANDREW, para conductores de RF y accesorios
- ERICSSON, para las unidades radio base RBS

A continuación se expone las características físicas y funcionales más importantes del equipo escogido de cada fabricante y el criterio con que fue seleccionado.

4.12.1. ANTENA KATHREIN 742212

Es una antena de polarización dual o XPol, apropiada para la cobertura en zonas urbanas, tiene una apertura horizontal de 65° que es la recomendada para aplicaciones de cobertura en ciudades y evita el empleo de diversidad en el espacio. Permite la instalación de control remoto de tilt eléctrico para modificar la irradiación de acuerdo a la concentración de

usuarios. Cumple con los requerimientos del diseño propuesto y también con las especificaciones para antenas celulares mencionadas en el capítulo 3.

La Figura 4.15., muestra la antena direccional dual Kathrein 742212

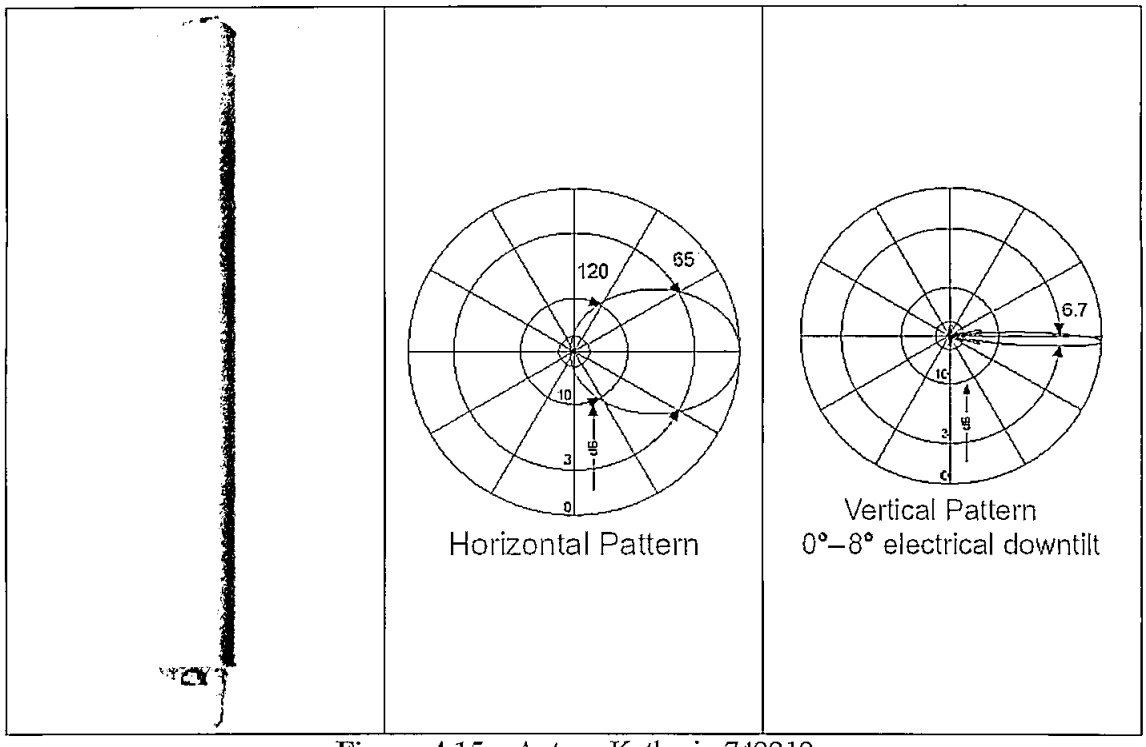


Figura 4.15. Antena Kathrein 742212

Entre las principales características tenemos:

Conector	2 x 7 – 16 DIN Tipo hembra
Rango de Frecuencia (MHz)	1710 – 2170
VSWR	< 1.5
Ganancia (dBi)	2 x 17.7
Impedancia (Ohms)	50
Relación Frente – Atrás	> 30 dB
Intermodulación IM3 (2 x 43 dBm)	< – 150 dBc
Polarización	+ 45°, – 45°
Apertura horizontal	65°
Apertura vertical	6.7°
Tilt eléctrico	0 – 8°
Potencia máxima	300 W
Dimensiones (L x A x F)	130.2 cm x 15.5 cm x 6.9 cm
Peso (kg)	7.5
Velocidad máxima del viento (km/h)	200

Tabla 4.10. Características físicas de la antena Kathrein 742212

4.12.2. CONDUCTORES ANDREW

La elección del cable de radio frecuencia depende de la distancia existente entre el equipo de transmisión y la antena. Es recomendable tener distancias cortas para evitar mayores pérdidas y atenuaciones; además de que a mayor distancia, mayor es el diámetro del cable y esto dificulta el manejo y el enrutamiento.

Tomando en cuenta que en el proyecto se sugieren torres de 30 y 36 metros de altura y considerando que se utilice entre 14 y 20 metros para holguras y enrutamientos, se determina que el cable coaxial que puede emplearse es el de 1 5/8 pulgadas, cable que es apto para transmitir la energía de radio frecuencia hasta 50 metros a una frecuencia de 2100 MHz.

4.12.3. UNIDAD RADIO BASE, ERICSSON RBS 1127 [1]

La RBS 1127 CDMA2000 es el último paso en la evolución para radio bases, la cual proporciona gran cobertura en un empaque compacto. Continúa la tradición CDMA de Ericsson de proveer un extenso ciclo de vida y la gran cobertura que proporciona en un empaque pequeño cumple con los requerimientos de red urbana mientras optimiza espacio.

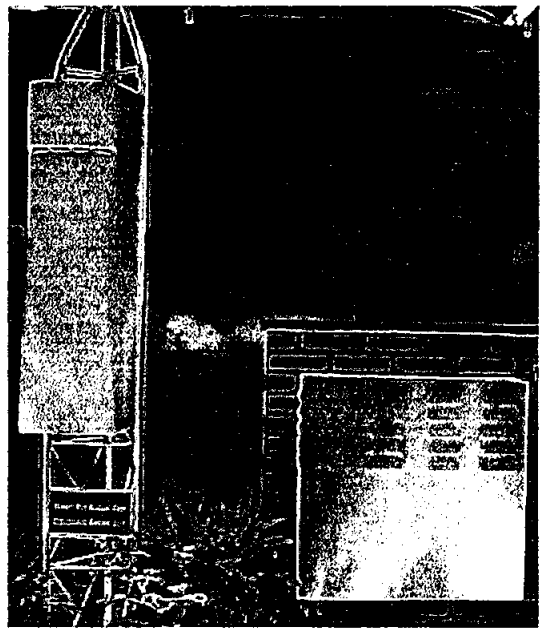


Figura 4.16. Ericsson RBS 1127

Es altamente flexible y escalable para aplicaciones de pequeña y gran escala. Ofrece control de sistema en tiempo real, cumple con los requerimientos de confiabilidad que las telecomunicaciones necesitan y está optimizada para proporcionar a la industria la mejor relación costo-desempeño. Ha sido diseñada para proveer a los operadores una actualización sencilla a CDMA2000 1XEV DO (Data Only) y CDMA2000 1XEV DV (Data Voice). Esta protección de inversión integrada asegura a los operadores una migración sencilla y rápida.

Las estaciones base compactas requieren menos tiempo y dinero cuando llega el momento de seleccionar, adquirir y preparar un sitio. Esto ayuda a los operadores a optimizar el diseño de red y tomar control de los costos, negociando arrendamientos más bajos.

La RBS 1127 CDMA2000 está imponiendo nuevos estándares a la industria para estaciones base de radio proveyendo características avanzadas como:

- Compatibilidad en los canales de ida y vuelta (cdmaOne, CDMA2000 1X, CDMA2000 1xEV).
- Alta Capacidad: configurable de 1 a 4 portadoras con 2 ó 3 sectores direccionales.
- Optimización de irradiación, colocando unidades remotas en las antenas.
- Bandas de frecuencia de 800 y 1900 MHz.
- Bajo consumo de potencia.
- Instalación en cualquier lugar: poste, pared o tejado, exteriores o interiores.
- Ligera: la unidad pesa 59 kg (130 lbs).
- Tamaño: unidad principal de 838 mm (altura) x 457 mm (ancho) x 381 mm (profundidad)

4.13. PN OFFSET PLANNING

Se procederá con lo establecido en el Capítulo 2, es decir, el valor PN = 0 no debe ser utilizado y se empleará un piloto incrementado de acuerdo a lo que se recomienda. Los resultados son los siguientes:

Radio Base		Número de Sectores	Sector	PN Offset
Identificación	Nombre			
AMB001	Concepción	3	α	1
			β	5
			γ	9
AMB002	Matriz	3	α	13
			β	17
			γ	21
AMB003	Miraflores	3	α	25
			β	29
			γ	33
AMB004	Miñarica	3	α	37
			β	41
			γ	45
AMB005	Bellavista	3	α	49
			β	53
			γ	57
AMB006	Huachi Chico	3	α	61
			β	65
			γ	69
AMB007	Mayorista	3	α	73
			β	77
			γ	81

Tabla 4.11. PN-Offset para los sectores de cobertura

4.13.1. LISTA DE CONFIGURACIÓN ALEDAÑA

De acuerdo a lo establecido en el Capítulo 2, consiste en una lista de los sectores en los que es probable que las estaciones móviles se encuentren en estado de handoff cuando se desplazan de una zona de cobertura a otra.

Radio Base Concepción		
Identificación	AMB001	**Sectores Aledaños**
Sector	**Identificación**	
α	AMB001– α	AMB001– β, AMB001– γ
β	AMB001– β	AMB001– α, AMB001– γ, AMB002– α
γ	AMB001– γ	AMB001– α, AMB001– β, AMB002– α

Radio Base Matriz		
Identificación	AMB002	**Sectores Aledaños**
Sector	**Identificación**	
α	AMB002– α	AMB002– β, AMB002– γ, AMB001– β, AMB001– γ
β	AMB002– β	AMB002– α, AMB002– γ, AMB003– α, AMB005– α, AMB005– γ
γ	AMB002– γ	AMB002– α, AMB002– β, AMB003– α, AMB003– γ

Radio Base Miraflores		
Identificación	AMB003	**Sectores Aledaños**
Sector	**Identificación**	
α	AMB003– α	AMB003– β, AMB003– γ, AMB002– β, AMB002– γ, AMB004– α, AMB005– α , AMB005– γ
β	AMB003– β	AMB003– α, AMB003– γ, AMB004– α, AMB004– γ, AMB005– γ
γ	AMB003– γ	AMB003– α, AMB003– β, AMB002– γ

Radio Base Miñarica		
Identificación	AMB004	**Sectores Aledaños**
Sector	**Identificación**	
α	AMB004– α	AMB004– β, AMB004– γ, AMB003– α, AMB003– β, AMB005– β , AMB005– γ
β	AMB004– β	AMB004– α, AMB004– γ, AMB005– β, AMB006– α
γ	AMB004– γ	AMB004– α, AMB004– β, AMB003– β

Radio Base Bellavista		
Identificación	AMB005	**Sectores Aledaños**
Sector	**Identificación**	
α	AMB005– α	AMB005– β, AMB005– γ, AMB002– β, AMB003– α
β	AMB005– β	AMB005– α, AMB005– γ, AMB004– α, AMB004– β, AMB006– α, AMB007– α
γ	AMB005– γ	AMB005– α, AMB005– β, AMB002– β, AMB003– α, AMB003– β, AMB004– α

Radio Base Huachi Chico		
Identificación	AMB006	**Sectores Aledaños**
Sector	**Identificación**	
α	AMB006– α	AMB006– β, AMB006– γ, AMB004– β, AMB005– β, AMB007– α
β	AMB006– β	AMB006– α, AMB006– γ, AMB007– α, AMB007– γ, AMB006– α, AMB007– α
γ	AMB006– γ	AMB006– α, AMB006– β

Radio Base Mayorista		
Identificación	AMB007	**Sectores Aledaños**
Sector	**Identificación**	
α	AMB007– α	AMB007– β, AMB007– γ, AMB005– β, AMB006– α
β	AMB007– β	AMB007– α, AMB007– γ
γ	AMB007– γ	AMB007– α, AMB007– β, AMB006– β

Tabla 4.12. Configuración Aledaña para cada uno de los sectores

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. INTRODUCCIÓN

En un mercado cada vez más competitivo, los precios que ofrece cierto proveedor son muy variables con respecto a otro, y técnicamente pueden ser de las mismas especificaciones. Los proveedores, para ofrecer un producto a cierto precio, se basan en el servicio técnico, repuestos, garantía y durabilidad, sin olvidar al cliente a quien va dirigido el producto.

Por mencionar algo, en nuestro país existen dos operadoras de telefonía móvil celular con tecnología CDMA, en las que el precio de un equipamiento puede variar, inclusive siendo el mismo proveedor.

Existen muchos factores que definen el precio de los diferentes productos, pero entre los más importantes podemos mencionar:

- Volumen de compra
- Forma de pago

Las restricciones que se tienen para acceder a la información real de los productos son grandes, ya que los proveedores negocian directamente con las operadoras, razón por la cual esta información es considerada como confidencial dentro de cada organización, estrategias que permiten competir en el mercado.

En este capítulo se presentan los costos estimados, basados en precios referenciales dentro del mercado nacional y establecidos por el fabricante para realizar alguna negociación.

Para llegar a cuantificar en su totalidad el diseño elaborado, se deben tomar en cuenta los costos de equipamiento, infraestructura, ingeniería de telecomunicaciones e instalación; llegando por tanto a determinar la inversión que se tendría que hacer para poner en marcha a la red celular propuesta.

Las visitas realizadas a cada uno de los sitios, dieron como resultado la factibilidad de que todas las estaciones base puedan ser implementadas sobre terreno, lo que representa una

gran ventaja en el sentido de que la operadora celular pueda adquirir el terreno e instalar su infraestructura propia.

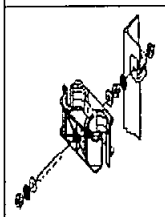
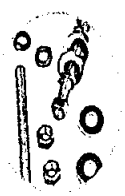
5.2. COSTOS DE EQUIPAMIENTO

Se consideran elementos como: unidad radio base, antenas y equipo para microondas.
En la tabla 5.1 se muestran estos equipos de telecomunicaciones que serán utilizados en cada estación base.

COSTO EQUIPAMIENTO						
EQUIPO	MODELO	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	CANTIDAD [u]	PRECIO UNITARIO [USD]	PRECIO TOTAL [USD]
Radio Base	RBS 1127	Soporta 4 portadoras RF con 3 sectores por portadora.	ERICSSON	1	70000,00	70000,00
Antena	742212	Panel frontal Multi-banda, polarización dual, ajuste del nivel de potencia. Downtilt eléctrico.	KATHREIN	3	1000,00	3000,00
Microondas	MINI LINK - E	Producto para transmisión punto a punto por microondas	ERICSSON	2	40000,00	80000,00
TOTAL						**153000,00**

Tabla 5.1. Costo equipamiento

En la tabla 5.2 se detallan los costos de los elementos que se necesitan para realizar el cableado de la estación base con una torre de 30m de altura.

CABLEADO TORRE h = 30m						
FABRICANTE: ANDREW						
Figura	**Accesorios**	**Modelo**	**Descripción**	**Precio unitario**	**Cantidad**	**Precio Total**
	Jumper de 3m	HELIAX LDF4	Cable coaxial de 1/2" entre la antena y el cable 1-5/8"	21,33	6	127,98
	50 m de cable coaxial 1-5/8"	HELIAX LDF7-50A	Cable coaxial entre el jumper y el equipo de radio	2400,00	6	14400,00
	Conector coaxial macho	7-16 DIN Macho	conector para el cable coaxial 1-5/8"	40,00	18	720,00
	Conector coaxial hembra	7-16 DIN Hembra	conector para el jumper	40,00	6	240,00
	Soporte/Manga de izar L7SGRIP	L7SGRIP/L7SGRIP-7IK	Permite sujetar y elevar cable coaxial 1-5/8". Incluye una abrazadera	36,09	6	216,54
	Soporte Colgante Doble	L7CLICK	Diseñado para soportar 2 cables coaxiales HELIAX 1-5/8". Incluye kit de 10 piezas	38,14	9	343,26
	Equipo de Fijación(Adaptador angular compacto)	243684	Permite que el soporte colgante se adapte a segmentos angulares. Incluye kit de 10 piezas	39,45	3	118,35
	Equipo para soporte colgante	243095-2	Sujeta a la estructura de la torre hasta 3 soportes colgantes dobles. Incluye kit de 10 piezas	26,28	3	78,84

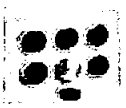
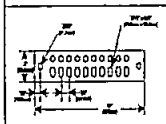
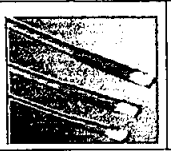
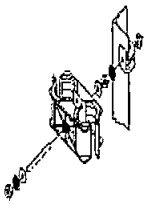
	Sellador Impermeabilizante	245172	Encojimiento frío para uso en conecciones tipo N ó DIN.	34,71	2	69,42
	Entrada de línea de transmisión integrada/Sistema de tierra	APORT-13-4	Proporciona espacio para pared de entrada y 4 cavidades para entrada de guia de onda	127,75	1	127,75
	Pared de entrada múltiple/Cubierta alimentada por placa	48940-6	Plato de entrada con 6 aperturas de 5"	197,1	1	197,10
	Botas para cable de entrada	48939A-4	Botas de 5" para su uso en cable coaxial de 1-5/8"	50,37	6	302,22
	Kit de aterramieto	SGL7-15B4	Color negro para cable 1-5/8" LDF7 con 1,5m de cable.	26,06	18	469,08
	Barras de aterramiento	UBGKIT-0210-T	Barra com recubrimietno de estaño	10,00	2	20,00
	Fijador de Barra	UGBA-DIN-34	Fijador universal de barra de aterramietno	30,00	1	30,00
TOTAL						**17460,54**

Tabla 5.2. Costo cableado torre h = 30m

En la tabla 5.3 se muestra los costos de los elementos que se necesitan para realizar el cableado de la estación base con una torre de 36m, que básicamente son los mismos pero con la diferencia que se utiliza cable coaxial de 60m de longitud.

CABLEADO TORRE h = 36m						
FABRICANTE: ANDREW						
Figura	**Accesorios**	**Modelo**	**Descripción**	**Precio unitario**	**Cantidad**	**Precio Total**
	Jumper de 3m	HELIAX LDF4	Cable coaxial de 1/2" entre la antena y el cable 1-5/8"	21,33	6	127,98

	60 m de cable coaxial 1-5/8"	HELIAX LDF7-50A	Cable coaxial entre el jumper y el equipo de radio	2880,00	6	17280,00
	Conector coaxial macho	7-16 DIN Macho	conector para el cable coaxial 1-5/8"	40,00	18	720,00
	Conector coaxial hembra	7-16 DIN Hembra	conector para el jumper	40,00	6	240,00
	Soporte/Manga de izar L7SGRIP	L7SGRIP/L7SGRIP-7IK	Permite sujetar y elevar cable coaxial 1-5/8". Incluye una abrazadera	36,09	6	216,54
	Soporte Colgante Doble	L7CLICK	Diseñado para soportar 2 cables coaxiales HELIAX 1-5/8". Incluye kit de 10 piezas	38,14	9	343,26
	Equipo de Fijación(Adaptador angular compacto)	243684	Permite que el soporte colgante se adapte a segmentos angulares. Incluye kit de 10 piezas	39,45	3	118,35
	Equipo para soporte colgante	243095-2	Sujeta a la estructura de la torre hasta 3 soportes colgantes dobles. Incluye kit de 10 piezas	26,28	3	78,84
	Sellador Impermeabilizante	245172	Encojimiento frío para uso en conecciones tipo N ó DIN.	34,71	2	69,42
	Entrada de línea de transmisión integrada/Sistema de tierra	APORT-13-4	Proporciona espacio para pared de entrada y 4 cavidades para entrada de guia de onda	127,75	1	127,75

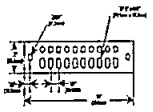
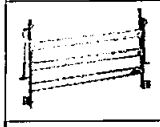
	Pared de entrada múltiple/Cubierta alimentada por placa	48940-6	Plato de entrada con 6 aperturas de 5"	197,10	1	197,10
	Botas para cable de entrada	48939A-4	Botas de 5" para su uso en cable coaxial de 1-5/8"	50,37	6	302,22
	Kit de aterramieto	SGL7-15B4	Color negro para cable 1-5/8" LDF7 con 1,5m de cable.	26,06	18	469,08
	Barras de aterramiento	UBGKIT-0210-T	Barra com recubrimietno de estaño	10,00	2	20,00
	Fijador de Barra	UGBA-DIN-34	Fijador universal de barra de aterramietno	30,00	1	30,00
TOTAL						20340,54

Tabla 5.3. Costo cableado torre h = 36m

Finalmente se muestran en la tabla 5.4 los costos del equipo DC y de aire acondicionado que se pueden utilizar en cada una de las radio bases.

EQUIPOS DC	MODELO	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	CANTIDAD [u]	PRECIO UNITARIO [USD]	PRECIO TOTAL [USD]
Power Plant	Candeo SP 48300 Power System	Consta de 3 rectificadores, 2 baterías y equipo modular.	EMERSON	3	12000,00	36000,00
Aire Acondicionado	Intelecool ET018	Equipo para acondicionamiento ambiental dentro del shelter de 18000 BTU	Liebert	2	2200,00	4400,00
TOTAL						40400,00

Tabla 5.4. Costo equipo DC y Aire acondicionado

5.3. COSTOS DE INFRAESTRUCTURA

Se consideran aspectos tales como: obras preliminares, cerramiento, shelter, áreas exteriores, torre, aterramientos, acondicionamiento ambiental, instalaciones eléctricas, sistemas de seguridad, los que se detallan en las siguientes tablas, en las que se incluye el costo de la mano de obra civil.

LA CONCEPCIÓN TORRE h = 30m				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
OBRAS PRELIMINARES				
Trazado y replanteo (16,00 x 18,00)	288,00	m2	1,00	288,00
Limpieza de capa vegetal y aplicación de matamaleza	288,00	m2	1,50	432,00
Desalojo (sin demolición)	8,00	m3	6,00	48,00
Caseta de oficina, bodega y guardianía	20,00	m2	28,00	560,00
Instalación provisional de AA.PP.	1,00	glb	100,00	100,00
Instalación provisional de II.EE.	1,00	glb	120,00	120,00
Estudio de suelos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Realización de drenajes de AA.SS. y AA.LL.	1,00	glb	150,00	150,00
Permisos y trámites municipales	1,00	glb	600,00	600,00
Total Preliminares				*3498,00*
CERRAMIENTO (MAMPOSTERÍA)				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	20,00	m3	5,00	100,00
Mampostería				
Bloque 40x20x15 cm (h = 3,00 m, cadena de apoyo, viga perimetral y columnetas de amarre)	200,00	m2	18,00	3600,00
Enlucidos				
Interior de cerramiento	200,00	m2	6,00	1200,00
Exterior de cerramiento	39,00	m2	6,00	234,00
Carpintería				
Alambre de púas (3 hilos sobre el cerramiento)	68,00	m	1,00	68,00
Puerta acceso vehicular con puerta de ingreso peatonal 4 x 3 m	1,00	u	800,00	800,00
Pintura				
Pintura caucho (interior de cerramiento)	200,00	m2	3,00	600,00
Pintura caucho (exterior de cerramiento)	39,00	m2	3,00	117,00
Total Cerramiento				*6719,00*
SHELTER				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de	15,00	m3	5,00	75,00

material				
Shelter , guardianía y bodega				
Diseño, planificación, cálculo y planos	1,00	glb	700,00	700,00
Construcción (incluye acabados e instalaciones completas)	1,00	glb	14700,00	14700,00
Total Shelter				*15475,00*
ÁREAS EXTERIORES				
Acceso pavimentado y nivelación de terreno	1,00	glb	1000,00	1000,00
Central de alarmas externas, debe incluir	1,00	glb	1500,00	1500,00
Sensor alarma de pérdida de red de empresa pública	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura mayor	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura crítica	1,00	u		
Sensor alarma de fuego e incendio	1,00	u		
Sensor alarma de humo	1,00	u		
Sensor alarma de intruso	1,00	u		
Sensor alarma de falla de baliza	1,00	u		
Sensor alarma de falla de supresor de transientes. Se incluye cableado y pruebas hasta el MDF	1,00	u		
Total áreas exteriores				*2500,00*
TORRE (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)				
Diseño, cálculos, planos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Excavación de cimentación, cimentación hormigón armado y relleno compactado	1,00	glb	6000,00	6000,00
Fabricación e instalación de torre metálica galvanizada al caliente h = 30m	1,00	glb	9000,00	9000,00
Escalerilla para cables en torre: L = 40x40x4 mm espesor espaciadas cada 0,60 cms.	15,00	m	20,00	300,00
Pararrayos (suministro e instalación de bajantes)	1,00	u	500,00	500,00
Barra de tierra superior e inferior incluido bajantes	2,00	u	300,00	600,00
Polos para antenas microondas (con instalación y aterrizamiento)	2,00	u	200,00	400,00
Polos para antenas celulares (con instalación y aterrizamiento)	3,00	u	160,00	480,00
Total Torre				*18480,00*
ATERRAMIENTOS	1,00	glb	3000,00	3000,00
Varillas				
Conductor 2/0 Cu				
Barra de tierra cuarto de equipos interna y externa incluido bajantes				
Alo de tierra cuarto de quipos incluido bajantes				
Sueldas				
Cajas de revisión con tapa (incluye agarradera metálica)				
Puesta a tierra de todas las partes metálicas - total electrodo activo				
Total aterramientos				*3000,00*
OBRAS ELÉCTRICAS				
Principales				
Transformador (10KVA) (Compra y montaje)	1,00	u	780,00	780,00

Acometida en alta tensión (Incluye poste y 100 m de línea)	1,00	u	340,00	340,00
Protección en alta tensión	1,00	u	130,00	130,00
Protección en baja tensión (Incluye panel de fusibles)	1,00	u	110,00	110,00
Acometida en baja tensión hasta medidor	1,00	u	140,00	140,00
Proyecto eléctrico y aprobación	1,00	u	500,00	500,00
Caja del medidor + medidor y disyuntor de protección principal	1,00	u	120,00	120,00
Secundarias				0,00
Acometidas desde el medidor hasta el TDE (Ø 1 y 1/2", 2x4 + 1x4TTU + 6TW	1,00	u	320,00	320,00
Caja de revisión	2,00	u	50,00	100,00
Sujeciones	1,00	u	100,00	100,00
Total Obras Eléctricas				*2640,00*
SISTEMA DE SEGURIDAD				
Extintor CO 2 Americano de 10 lbs	1,00	glb	170,00	170,00
Total Sistema de Seguridad				*170,00*
TOTAL PRESUPUESTO				*52482,00*

Tabla 5.5a. Costos de infraestructura la Concepción

LA MATRIZ TORRE h = 30m				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
OBRAS PRELIMINARES				
Trazado y replanteo (10,00 x 30,00)	300,00	m2	1,00	300,00
Limpieza de capa vegetal y aplicación de matamaleza	300,00	m2	1,50	450,00
Desalojo (sin demolición)	15,00	m3	6,00	90,00
Caseta de oficina, bodega y guardianía	20,00	m2	28,00	560,00
Instalación provisional de AA.PP.	1,00	glb	100,00	100,00
Instalación provisional de II.EE.	1,00	glb	120,00	120,00
Estudio de suelos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Realización de drenajes de AA.SS. y AA.LL.	1,00	glb	150,00	150,00
Permisos y trámites municipales	1,00	glb	600,00	600,00
Total Preliminares				*3570,00*
CERRAMIENTO (MAMPOSTERÍA)				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	20,00	m3	5,00	100,00
Mampostería				
Bloque 40x20x15 cm (h = 3,00 m, cadena de apoyo, viga perimetral y columnetas de amarre)	228,00	m2	18,00	4104,00
Enlucidos				
Interior de cerramiento	228,00	m2	6,00	1368,00
Exterior de cerramiento	18,00	m2	6,00	108,00

Carpintería				
Alambre de púas (3 hilos sobre el cerramiento)	68,00	m	1,00	68,00
Puerta acceso vehicular con puerta de ingreso peatonal 4 x 3 m	1,00	u	800,00	800,00
Pintura				
Pintura caucho (interior de cerramiento)	228,00	m2	3,00	684,00
Pintura caucho (exterior de cerramiento)	18,00	m2	3,00	54,00
Total Cerramiento				*7286,00*
SHELTER				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	15,00	m3	5,00	75,00
Shelter , guardianía y bodega				
Diseño, planificación, cálculo y planos	1,00	glb	700,00	700,00
Construcción (incluye acabados e instalaciones completas)	1,00	glb	14700,00	14700,00
Total Shelter				*15475,00*
ÁREAS EXTERIORES				
Acceso pavimentado y nivelación de terreno	1,00	glb	1000,00	1000,00
Central de alarmas externas, debe incluir	1,00	glb	1500,00	1500,00
Sensor alarma de pérdida de red de empresa pública	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura mayor	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura crítica	1,00	u		
Sensor alarma de fuego e incendio	1,00	u		
Sensor alarma de humo	1,00	u		
Sensor alarma de intruso	1,00	u		
Sensor alarma de falla de baliza	1,00	u		
Sensor alarma de falla de supresor de transientes. Se incluye cableado y pruebas hasta el MDF	1,00	u		
Total áreas exteriores				*2500,00*
TORRE (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)				
Diseño, cálculos, planos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Excavación de cimentación, cimentación hormigón armado y relleno compactado	1,00	glb	6000,00	6000,00
Fabricación e instalación de torre metálica galvanizada al caliente h = 30m	1,00	glb	9000,00	9000,00
Escalerilla para cables en torre: L = 40x40x4 mm espesor espaciadas cada 0,60 cms.	15,00	m	20,00	300,00
Pararrayos (suministro e instalación de bajantes)	1,00	u	500,00	500,00
Barra de tierra superior e inferior incluido bajantes	2,00	u	300,00	600,00
Polos para antenas microondas (con instalación y aterrizamiento)	2,00	u	200,00	400,00
Polos para antenas celulares (con instalación y aterrizamiento)	3,00	u	160,00	480,00
Total Torre				*18480,00*
ATERRAMIENTOS	1,00	glb	3000,00	3000,00
Varillas				
Conductor 2/0 Cu				

Barra de tierra cuarto de equipos interna y externa incluido bajantes				
Alo de tierra cuarto de quipos incluido bajantes				
Sueldas				
Cajas de revisión con tapa (incluye agarradera metálica)				
Puesta a tierra de todas las partes metálicas - total electrodo activo				
Total aterramientos				*3000,00*
OBRAS ELÉCTRICAS				
Principales				
Transformador (10KVA) (Compra y montaje)	1,00	u	780,00	780,00
Acometida en alta tensión (Incluye poste y 100 m de línea)	1,00	u	340,00	340,00
Protección en alta tensión	1,00	u	130,00	130,00
Protección en baja tensión (Incluye panel de fusibles)	1,00	u	110,00	110,00
Acometida en baja tensión hasta medidor	1,00	u	140,00	140,00
Proyecto eléctrico y aprobación	1,00	u	500,00	500,00
Caja del medidor + medidor y disyuntor de protección principal	1,00	u	120,00	120,00
Secundarias				0,00
Acometidas desde el medidor hasta el TDE (Ø 1 y 1/2", 2x4 + 1x4TTU + 6TW	1,00	u	320,00	320,00
Caja de revisión	2,00	u	50,00	100,00
Sujeciones	1,00	u	100,00	100,00
Total Obras Eléctricas				*2640,00*
SISTEMA DE SEGURIDAD				
Extintor CO 2 Americano de 10 lbs	1,00	glb	170,00	170,00
Total Sistema de Seguridad				*170,00*
TOTAL PRESUPUESTO				***53121,00***

Tabla 5.5b. Costos de infraestructura la Matriz

MIRAFLORES TORRE h = 30m				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
OBRAS PRELIMINARES				
Trazado y replanteo (10,00 x 30,00)	300,00	m2	1,00	300,00
Limpieza de capa vegetal y aplicación de matamaleza	300,00	m2	1,50	450,00
Desalojo (sin demolición)	15,00	m3	6,00	90,00
Caseta de oficina, bodega y guardianía	20,00	m2	28,00	560,00
Instalación provisional de AA.PP.	1,00	glb	100,00	100,00
Instalación provisional de II.EE.	1,00	glb	120,00	120,00
Estudio de suelos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Realización de drenajes de AA.SS. y AA.LL.	1,00	glb	150,00	150,00
Permisos y trámites municipales	1,00	glb	600,00	600,00

Total Preliminares				*3570,00*
CERRAMIENTO (MAMPOSTERÍA)				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	20,00	m3	5,00	100,00
Mampostería				
Bloque 40x20x15 cm (h = 3,00 m, cadena de apoyo, viga perimetral y columnetas de amarre)	228,00	m2	18,00	4104,00
Enlucidos				
Interior de cerramiento	228,00	m2	6,00	1368,00
Exterior de cerramiento	18,00	m2	6,00	108,00
Carpintería				
Alambre de púas (3 hilos sobre el cerramiento)	80,00	m	1,00	80,00
Puerta acceso vehicular con puerta de ingreso peatonal 4 x 3 m	1,00	u	800,00	800,00
Pintura				
Pintura caucho (interior de cerramiento)	228,00	m2	3,00	684,00
Pintura caucho (exterior de cerramiento)	18,00	m2	3,00	54,00
Total Cerramiento				*7298,00*
SHELTER				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	15,00	m3	5,00	75,00
Shelter , guardianía y bodega				
Diseño, planificación, cálculo y planos	1,00	glb	700,00	700,00
Construcción (incluye acabados e instalaciones completas)	1,00	glb	14700,00	14700,00
Total Shelter				*15475,00*
ÁREAS EXTERIORES				
Acceso pavimentado y nivelación de terreno	1,00	glb	1000,00	1000,00
Central de alarmas externas, debe incluir	1,00	glb	1500,00	1500,00
Sensor alarma de pérdida de red de empresa pública	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura mayor	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura crítica	1,00	u		
Sensor alarma de fuego e incendio	1,00	u		
Sensor alarma de humo	1,00	u		
Sensor alarma de intruso	1,00	u		
Sensor alarma de falla de baliza	1,00	u		
Sensor alarma de falla de supresor de transientes. Se incluye cableado y pruebas hasta el MDF	1,00	u		
Total áreas exteriores				*2500,00*
TORRE (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)				
Diseño, cálculos, planos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Excavación de cimentación, cimentación hormigón armado y relleno compactado	1,00	glb	6000,00	6000,00
Fabricación e instalación de torre metálica galvanizada al caliente h = 30m	1,00	glb	9000,00	9000,00

Escalerilla para cables en torre: L = 40x40x4 mm espesor espaciadas cada 0,60 cms.	15,00	m	20,00	300,00
Pararrayos (suministro e instalación de bajantes)	1,00	u	500,00	500,00
Barra de tierra superior e inferior incluido bajantes	2,00	u	300,00	600,00
Polos para antenas microondas (con instalación y aterrizamiento)	2,00	u	200,00	400,00
Polos para antenas celulares (con instalación y aterrizamiento)	3,00	u	160,00	480,00
Total Torre				*18480,00*
ATERRAMIENTOS	1,00	glb	3000,00	3000,00
Varillas				
Conductor 2/0 Cu				
Barra de tierra cuarto de equipos interna y externa incluido bajantes				
Alo de tierra cuarto de quipos incluido bajantes				
Sueldas				
Cajas de revisión con tapa (incluye agarradera metálica)				
Puesta a tierra de todas las partes metálicas - total electrodo activo				
Total aterramientos				*3000,00*
OBRAS ELÉCTRICAS				
Principales				
Transformador (10KVA) (Compra y montaje)	1,00	u	780,00	780,00
Acometida en alta tensión (Incluye poste y 100 m de línea)	1,00	u	340,00	340,00
Protección en alta tensión	1,00	u	130,00	130,00
Protección en baja tensión (Incluye panel de fusibles)	1,00	u	110,00	110,00
Acometida en baja tensión hasta medidor	1,00	u	140,00	140,00
Proyecto eléctrico y aprobación	1,00	u	500,00	500,00
Caja del medidor + medidor y disyuntor de protección principal	1,00	u	120,00	120,00
Secundarias				0,00
Acometidas desde el medidor hasta el TDE (Ø 1 y 1/2", 2x4 + 1x4TTU + 6TW	1,00	u	320,00	320,00
Caja de revisión	2,00	u	50,00	100,00
Sujeciones	1,00	u	100,00	100,00
Total Obras Eléctricas				*2640,00*
SISTEMA DE SEGURIDAD				
Extintor CO 2 Americano de 10 lbs	1,00	glb	170,00	170,00
Total Sistema de Seguridad				*170,00*
TOTAL PRESUPUESTO				*55133,00*

Tabla 5.5c. Costos de infraestructura Miraflores

MIÑARICA TORRE h = 30m				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
OBRAS PRELIMINARES				
Trazado y replanteo (10,00 x 30,00)	300,00	m2	1,00	300,00
Limpieza de capa vegetal y aplicación de matamaleza	300,00	m2	1,50	450,00
Desalojo (sin demolición)	15,00	m3	6,00	90,00
Caseta de oficina, bodega y guardianía	20,00	m2	28,00	560,00
Instalación provisional de AA.PP.	1,00	glb	100,00	100,00
Instalación provisional de II.EE.	1,00	glb	120,00	120,00
Estudio de suelos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Realización de drenajes de AA.SS. y AA.LL.	1,00	glb	150,00	150,00
Permisos y trámites municipales	1,00	glb	600,00	600,00
Total Preliminares				*3570,00*
CERRAMIENTO (MAMPOSTERÍA)				
Mampostería Frontal				
Bloque 40x20x15 cm (7x2m)	14,00	m2	18,00	252,00
Enlucidos				
Interior de cerramiento	228,00	m2	6,00	1368,00
Exterior de cerramiento	14,00	m2	6,00	84,00
Carpintería				
Alambre de púas (3 hilos sobre el cerramiento)	80,00	m	1,00	80,00
Puerta acceso vehicular con puerta de ingreso peatonal 4 x 3 m	1,00	u	800,00	800,00
Pintura				
Pintura caucho (interior de cerramiento)	228,00	m2	3,00	684,00
Pintura caucho (exterior de cerramiento)	18,00	m2	3,00	54,00
Total Cerramiento				*3322,00*
SHELTER				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	15,00	m3	5,00	75,00
Shelter , guardianía y bodega				
Diseño, planificación, cálculo y planos	1,00	glb	700,00	700,00
Construcción (incluye acabados e instalaciones completas)	1,00	glb	14700,00	14700,00
Total Shelter				*15475,00*
ÁREAS EXTERIORES				
Acceso pavimentado y nivelación de terreno	1,00	glb	1000,00	1000,00
Central de alarmas externas, debe incluir	1,00	glb	1500,00	1500,00
Sensor alarma de pérdida de red de empresa pública	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura mayor	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura crítica	1,00	u		

Sensor alarma de fuego e incendio	1,00	u		
Sensor alarma de humo	1,00	u		
Sensor alarma de intruso	1,00	u		
Sensor alarma de falla de baliza	1,00	u		
Sensor alarma de falla de supresor de transientes. Se incluye cableado y pruebas hasta el MDF	1,00	u		
Total áreas exteriores				*2500,00*
TORRE (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)				
Diseño, cálculos, planos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Excavación de cimentación, cimentación hormigón armado y relleno compactado	1,00	glb	6000,00	6000,00
Fabricación e instalación de torre metálica galvanizada al caliente h = 30m	1,00	glb	9000,00	9000,00
Escalerilla para cables en torre: L = 40x40x4 mm espesor espaciadas cada 0,60 cms.	15,00	m	20,00	300,00
Pararrayos (suministro e instalación de bajantes)	1,00	u	500,00	500,00
Barra de tierra superior e inferior incluido bajantes	2,00	u	300,00	600,00
Polos para antenas microondas (con instalación y aterrizamiento)	2,00	u	200,00	400,00
Polos para antenas celulares (con instalación y aterrizamiento)	3,00	u	160,00	480,00
Total Torre				*18480,00*
ATERRAMIENTOS	1,00	glb	3000,00	3000,00
Varillas				
Conductor 2/0 Cu				
Barra de tierra cuarto de equipos interna y externa incluido bajantes				
Alo de tierra cuarto de quipos incluido bajantes				
Sueldas				
Cajas de revisión con tapa (incluye agarradera metálica)				
Puesta a tierra de todas las partes metálicas - total electrodo activo				
Total aterramientos				*3000,00*
OBRAS ELÉCTRICAS				
Principales				
Transformador (10KVA) (Compra y montaje)	1,00	u	780,00	780,00
Acometida en alta tensión (Incluye poste y 100 m de línea)	1,00	u	340,00	340,00
Protección en alta tensión	1,00	u	130,00	130,00
Protección en baja tensión (Incluye panel de fusibles)	1,00	u	110,00	110,00
Acometida en baja tensión hasta medidor	1,00	u	140,00	140,00
Proyecto eléctrico y aprobación	1,00	u	500,00	500,00
Caja del medidor + medidor y disyuntor de protección principal	1,00	u	120,00	120,00
Secundarias				0,00
Acometidas desde el medidor hasta el TDE (Ø 1 y 1/2", 2x4 + 1x4TTU + 6TW	1,00	u	320,00	320,00
Caja de revisión	2,00	u	50,00	100,00
Sujeciones	1,00	u	100,00	100,00
Total Obras Eléctricas				*2640,00*

SISTEMA DE SEGURIDAD				
Extintor CO 2 Americano de 10 lbs	1,00	glb	170,00	170,00
Total Sistema de Seguridad				*170,00*
TOTAL PRESUPUESTO				*49157,00*

Tabla 5.5d. Costos de infraestructura Miñarica

BELLAVISTA TORRE h = 36m				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
OBRAS PRELIMINARES				
Trazado y replanteo (10,00 x 30,00)	300,00	m2	1,00	300,00
Limpieza de capa vegetal y aplicación de matamaleza	300,00	m2	1,50	450,00
Desalojo (sin demolición)	15,00	m3	6,00	90,00
Caseta de oficina, bodega y guardianía	20,00	m2	28,00	560,00
Instalación provisional de AA.PP.	1,00	glb	100,00	100,00
Instalación provisional de II.EE.	1,00	glb	120,00	120,00
Estudio de suelos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Realización de drenajes de AA.SS. y AA.LL.	1,00	glb	150,00	150,00
Permisos y trámites municipales	1,00	glb	600,00	600,00
Total Preliminares				*3570,00*
CERRAMIENTO (MAMPOSTERÍA)				
Mejora de Cerramiento				300,00
Enlucidos				
Interior de cerramiento	228,00	m2	6,00	1368,00
Exterior de cerramiento	14,00	m2	6,00	84,00
Carpintería				
Alambre de púas (3 hilos sobre el cerramiento)	80,00	m	1,00	80,00
Puerta acceso vehicular con puerta de ingreso peatonal 4 x 3 m	1,00	u	800,00	800,00
Pintura				
Pintura caucho (interior de cerramiento)	228,00	m2	3,00	684,00
Pintura caucho (exterior de cerramiento)	18,00	m2	3,00	54,00
Total Cerramiento				*3370,00*
SHELTER				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	15,00	m3	5,00	75,00
Shelter , guardianía y bodega				
Diseño, planificación, cálculo y planos	1,00	glb	700,00	700,00

Construcción (incluye acabados e instalaciones completas)	1,00	glb	14700,00	14700,00
Total Shelter				*15475,00*
ÁREAS EXTERIORES				
Acceso pavimentado y nivelación de terreno	1,00	glb	1000,00	1000,00
Central de alarmas externas, debe incluir	1,00	glb	1500,00	1500,00
Sensor alarma de pérdida de red de empresa pública	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura mayor	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura crítica	1,00	u		
Sensor alarma de fuego e incendio	1,00	u		
Sensor alarma de humo	1,00	u		
Sensor alarma de intruso	1,00	u		
Sensor alarma de falla de baliza	1,00	u		
Sensor alarma de falla de supresor de transientes. Se incluye cableado y pruebas hasta el MDF	1,00	u		
Total áreas exteriores				*2500,00*
TORRE (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)				
Diseño, cálculos, planos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Excavación de cimentación, cimentación hormigón armado y relleno compactado	1,00	glb	6000,00	6000,00
Fabricación e instalación de torre metálica galvanizada al caliente h = 36m	1,00	glb	12000,00	12000,00
Escalerilla para cables en torre: L = 40x40x4 mm espesor espaciadas cada 0,60 cms.	15,00	m	20,00	300,00
Pararrayos (suministro e instalación de bajantes)	1,00	u	500,00	500,00
Barra de tierra superior e inferior incluido bajantes	2,00	u	300,00	600,00
Polos para antenas microondas (con instalación y aterrizamiento)	2,00	u	200,00	400,00
Polos para antenas celulares (con instalación y aterrizamiento)	3,00	u	160,00	480,00
Total Torre				*21480,00*
ATERRAMIENTOS	1,00	glb	3000,00	3000,00
Varillas				
Conductor 2/0 Cu				
Barra de tierra cuarto de equipos interna y externa incluido bajantes				
Alo de tierra cuarto de quipos incluido bajantes				
Sueldas				
Cajas de revisión con tapa (incluye agarradera metálica)				
Puesta a tierra de todas las partes metálicas - total electrodo activo				
Total aterramientos				*3000,00*
OBRAS ELÉCTRICAS				
Principales				
Transformador (10KVA) (Compra y montaje)	1,00	u	780,00	780,00
Acometida en alta tensión (Incluye poste y 100 m de línea)	1,00	u	340,00	340,00
Protección en alta tensión	1,00	u	130,00	130,00
Protección en baja tensión (Incluye panel de fusibles)	1,00	u	110,00	110,00

Acometida en baja tensión hasta medidor	1,00	u	140,00	140,00
Proyecto eléctrico y aprobación	1,00	u	500,00	500,00
Caja del medidor + medidor y disyuntor de protección principal	1,00	u	120,00	120,00
Secundarias				0,00
Acometidas desde el medidor hasta el TDE (Ø 1 y 1/2", 2x4 + 1x4TTU + 6TW	1,00	u	320,00	320,00
Caja de revisión	2,00	u	50,00	100,00
Sujeciones	1,00	u	100,00	100,00
Total Obras Eléctricas				*2640,00*
SISTEMA DE SEGURIDAD				
Extintor CO 2 Americano de 10 lbs	1,00	glb	170,00	170,00
Total Sistema de Seguridad				*170,00*
TOTAL PRESUPUESTO				*52205,00*

Tabla 5.5e. Costos de infraestructura Bellavista

HUACHI CHICO-MAYORISTA TORRE h = 36m				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
OBRAS PRELIMINARES				
Trazado y replanteo (16,00 x 18,00)	288,00	m2	1,00	288,00
Limpieza de capa vegetal y aplicación de matamaleza	288,00	m2	1,50	432,00
Desalojo (sin demolición)	8,00	m3	6,00	48,00
Caseta de oficina, bodega y guardianía	20,00	m2	28,00	560,00
Instalación provisional de AA.PP.	1,00	glb	100,00	100,00
Instalación provisional de II.EE.	1,00	glb	120,00	120,00
Estudio de suelos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Realización de drenajes de AA.SS. y AA.LL.	1,00	glb	150,00	150,00
Permisos y trámites municipales	1,00	glb	600,00	600,00
Total Preliminares				*3498,00*
CERRAMIENTO (MAMPOSTERÍA)				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	20,00	m3	5,00	100,00
Mampostería				
Bloque 40x20x15 cm (h = 3,00 m, cadena de apoyo, viga perimetral y columnetas de amarre)	200,00	m2	18,00	3600,00
Enlucidos				
Interior de cerramiento	200,00	m2	6,00	1200,00
Exterior de cerramiento	39,00	m2	6,00	234,00
Carpintería				
Alambre de púas (3 hilos sobre el cerramiento)	68,00	m	1,00	68,00
Puerta acceso vehicular con puerta de ingreso peatonal 4 x 3 m	1,00	u	800,00	800,00
Pintura				

Pintura caucho (interior de cerramiento)	200,00	m2	3,00	600,00
Pintura caucho (exterior de cerramiento)	39,00	m2	3,00	117,00
Total Cerramiento				*6719,00*
SHELTER				
Movimiento de Tierras				
Excavación de ciminetos, relleno de cimientos y desalojo de material	15,00	m3	5,00	75,00
Shelter , guardianía y bodega				
Diseño, planificación, cálculo y planos	1,00	glb	700,00	700,00
Construcción (incluye acabados e instalaciones completas)	1,00	glb	14700,00	14700,00
Total Shelter				*15475,00*
ÁREAS EXTERIORES				
Acceso pavimentado y nivelación de terreno	1,00	glb	1000,00	1000,00
Central de alarmas externas, debe incluir	1,00	glb	1500,00	1500,00
Sensor alarma de pérdida de red de empresa pública	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura mayor	1,00	u		
Sensor alarma de temperatura crítica	1,00	u		
Sensor alarma de fuego e incendio	1,00	u		
Sensor alarma de humo	1,00	u		
Sensor alarma de intruso	1,00	u		
Sensor alarma de falla de baliza	1,00	u		
Sensor alarma de falla de supresor de transientes. Se incluye cableado y pruebas hasta el MDF	1,00	u		
Total áreas exteriores				*2500,00*
TORRE (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)				
Diseño, cálculos, planos	1,00	glb	1200,00	1200,00
Excavación de cimentación, cimentación hormigón armado y relleno compactado	1,00	glb	6000,00	6000,00
Fabricación e instalación de torre metálica galvanizada al caliente h = 36m	1,00	glb	12000,00	12000,00
Escalerilla para cables en torre: L = 40x40x4 mm espesor espaciadas cada 0,60 cms.	15,00	m	20,00	300,00
Pararrayos (suministro e instalación de bajantes)	1,00	u	500,00	500,00
Barra de tierra superior e inferior incluido bajantes	2,00	u	300,00	600,00
Polos para antenas microondas (con instalación y aterrizamiento)	2,00	u	200,00	400,00
Polos para antenas celulares (con instalación y aterrizamiento)	3,00	u	160,00	480,00
Total Torre				*21480,00*
ATERRAMIENTOS	1,00	glb	3000,00	3000,00
Varillas				
Conductor 2/0 Cu				
Barra de tierra cuarto de equipos interna y externa incluido bajantes				
Alo de tierra cuarto de quipos incluido bajantes				
Sueldas				
Cajas de revisión con tapa (incluye agarradera metálica)				

Puesta a tierra de todas las partes metálicas - total electrodo activo				
Total aterramientos				*3000,00*
OBRAS ELÉCTRICAS				
Principales				
Transformador (10KVA) (Compra y montaje)	1,00	u	780,00	780,00
Acometida en alta tensión (Incluye poste y 100 m de línea)	1,00	u	340,00	340,00
Protección en alta tensión	1,00	u	130,00	130,00
Protección en baja tensión (Incluye panel de fusibles)	1,00	u	110,00	110,00
Acometida en baja tensión hasta medidor	1,00	u	140,00	140,00
Proyecto eléctrico y aprobación	1,00	u	500,00	500,00
Caja del medidor + medidor y disyuntor de protección principal	1,00	u	120,00	120,00
Secundarias				0,00
Acometidas desde el medidor hasta el TDE (Ø 1 y 1/2", 2x4 + 1x4TTU + 6TW	1,00	u	320,00	320,00
Caja de revisión	2,00	u	50,00	100,00
Sujeciones	1,00	u	100,00	100,00
Total Obras Eléctricas				*2640,00*
SISTEMA DE SEGURIDAD				
Extintor CO 2 Americano de 10 lbs	1,00	glb	170,00	170,00
Total Sistema de Seguridad				*170,00*
TOTAL PRESUPUESTO				*55482,00*

Tabla 5.5f. Costos de infraestructura Huachi Chico y Mayorista

5.4. COSTOS DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

Se considera como ingeniería al proceso de diseño de la red de cobertura celular, y para este tipo de costos, se ha asumido un 20% del costo total de equipamiento, incluyendo equipos DC y cableado, en el que también constan los costos de instalación.

La tabla 5.6 muestra los costos de ingeniería.

COSTO	*PRECIO*
Equipamiento	1071000,00
Equipos DC	282800,00
Cableado	130863,78
Ingeniería de Telecomunicaciones	296932,76

Tabla 5.6. Costos de ingeniería

5.5. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

El costo total del proyecto se encuentra detallado en la tabla 5.7 y lo conforman cada uno de los costos totales anteriormente indicados.

COSTO	*PRECIO*
Equipamiento	1071000,00
Equipos DC	282800,00
Cableado	130863,78
Total de Infraestructura	371062,00
Ingeniería de Telecomunicaciones	296932,76
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	2152658,54

Tabla 5.7. Costo total del proyecto

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DISEÑO

El diseño satisface la necesidad de penetración de señal tanto en interiores como en exteriores, cubriendo aproximadamente el 95% del área planificada y tomando en cuenta la capacidad requerida para brindar servicio de tercera generación a la demanda inicial de usuarios y su proyección de crecimiento durante los primeros 3 años.

El diseño propuesto garantiza capacidad para más de tres años, debido a que se propone radio bases con 3 sectores para la cobertura celular. Esta alternativa permite que la capacidad se incremente en casi tres veces con respecto a la capacidad de una radio base con una sola celda.

Los hábitos de la sociedad ecuatoriana están orientados a la utilización de un servicio que no represente mucho gasto; por esto, el servicio de mensajes de texto (SMS) es el preferido por los usuarios prepago. La utilización de un servicio de datos está limitada a pocas personas, 1 a 3% de los abonados totales, por lo que no tiene mayor impacto en la capacidad de las celdas.

Según el análisis por capacidad, para brindar cobertura a la ciudad de Ambato se necesitan 7 RBS omnidireccionales, pero por otro lado está la geografía de la ciudad de Ambato que influye directamente en la característica de cobertura de la radio base. Por lo tanto, se combina la capacidad requerida con la mejor cobertura.

La geografía de la ciudad de Ambato es un factor determinante para realizar el diseño de la cobertura, porque influye en la ubicación de las radio bases. La distribución inicial de las RBS's no se ajusta a ésta geografía y la utilización de un simulador de cobertura sobre

planos topográficos digitalizados permite superar este inconveniente con la reubicación de las estaciones base, logrando de esta manera optimizar la cobertura.

La orientación de las antenas y por lo tanto la cobertura de los sectores está dirigida hacia donde se encuentra ubicada la mayor concentración de abonados, en este caso, el centro de la urbe, centros comerciales, mercados; porque en estos lugares se debe proveer mayor capacidad y mejor calidad de señal para satisfacer la demanda de servicios solicitados por los usuarios.

El simulador TEMS es una herramienta que ofrece un valioso aporte para el análisis de la cobertura, ya que al trabajar con mapas topográficos digitalizados se tiene una mejor idea de donde estarán ubicadas las estaciones radio bases y además posibilita la manipulación de las características de cada una de ellas como son, la altura de la torre, tipo de antena, direccionamiento; de tal manera que se pueda perfeccionar el diseño propuesto y la simulación asegure un resultado cercano a la realidad.

6.2. DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL OPERADOR

A partir de una cantidad inicial de 8000 abonados y con un porcentaje de crecimiento anual del 33%, se calculó que al final del tercer año se obtendrían 18.821 usuarios. Con esta cantidad de abonados se ha determinado la capacidad requerida para satisfacer la demanda de tráfico durante los tres años sin la necesidad de aumentar celdas y el número de radio bases necesarias para brindar cobertura a la ciudad de Ambato.

Según el método de diseño por capacidad, se ha obtenido que para el enlace reverso se requieren 21.93 Erl y para el enlace directo se requieren 22.83 Erl por radio base, porque los factores de ruido térmico y de carga limitan la capacidad máxima alcanzable.

Para la simulación de la cobertura celular se utilizó radio bases con torres de 30 m de altura en sectores residenciales, y en lugares donde el promedio de las edificaciones no supera los 25 m de alto se empleó torres de 36 m para asegurar cobertura en exteriores y penetración de señal en las edificaciones de la ciudad.

Una vez que se ha escogido al diseño por capacidad como la mejor opción, se ha asegurado que también se tenga la mejor cobertura con el propósito de optimizar el radio de las celdas y el número de radio bases.

En el diseño se ha logrado optimizar la cobertura y la capacidad, de tal manera que el operador tenga la seguridad de que sus clientes accederán a los servicios de tercera generación en la calles, avenidas y en las edificaciones de la ciudad.

En el proyecto se propone la implementación de la infraestructura sobre lotes de terrenos porque se tiene facilidad de adecuar el sitio de acuerdo a los requerimientos de cada radio base; pero esta alternativa podría resultar costosa desde el punto de vista de inversión.

La ubicación o la localización estratégica de las estaciones base representa un factor importante para optimizar la calidad de la señal ofrecida a los usuarios, ya que de esta manera permitirá reducir al máximo los efectos atenuadores producidos por las irregularidades geográficas presentes en la ciudad de Ambato.

Para lograr una apropiada implantación de una estación radio base, es necesario que los aspectos relacionados con el diseño como área de cobertura y nivel de señal vayan de la mano con la estructura civil, con el fin de conseguir un adecuado soporte para los equipos y que puedan funcionar apropiadamente, y de esta manera poder brindar buena calidad de servicios a los usuarios.

Los equipos utilizados para brindar cobertura a la ciudad de Ambato cumplen con los parámetros recomendados para su aplicación en áreas urbanas, como es el caso de las antenas con apertura horizontal de 65°.

La red de cobertura celular con tecnología CDMA 2000 propuesta tiene la característica de ser flexible, que hace que se adapte a la condición de movilidad (rápido o lento) del usuario, cambiando de celda o de sectores a medida que se desplaza sin afectar la calidad de señal ofrecida tanto en interiores como en exteriores.

El análisis de costos presenta la cuantificación de los diferentes rubros como equipamiento, infraestructura civil e ingeniería; de tal forma que representa un monto económico completo y a la vez muestra un valor aproximado de la inversión.

6.3. RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener el número de radio bases y de sectores propuestos en este proyecto, porque en caso de alguna modificación que reduzca lo antes mencionado, no se cumpliría la meta de capacidad y de cobertura proyectada para los tres años; ya que de acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación por capacidad, se logra una cobertura adecuada para la superficie de la ciudad de Ambato.

El diseño propuesto es bueno desde el punto de vista de cobertura y de capacidad ya que se logra cubrir gran cantidad del área de la ciudad de Ambato con una calidad de señal apropiada para brindar servicios de tercera generación a los usuarios y al mismo tiempo esta dimensionado para incorporar más usuarios que los proyectados a corto plazo.

Para la cobertura en lugares donde exista mayor concentración de usuarios, como en el centro de la ciudad, se recomienda orientar las antenas hacia estos lugares, tal como propone el diseño, permitiendo optimizar cobertura y capacidad.

En caso de que la capacidad disponible se llegue a saturar en el transcurso de los años debido al incremento de usuarios, no será necesario el aumento del número de celdas; sino que bastará con levantar una segunda portadora en todas las unidades radio base para satisfacer la demanda requerida.

En caso de que se prefieran otras alternativas de ubicación de las estaciones base, ya sea por cuestión de costos de inversión o por otros factores que impidan la implementación, se recomienda seleccionar un sitio que puede ser contratado y que se encuentre dentro del rango establecido del 10% del radio de la celda para no afectar las predicciones de cobertura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO I

OJAMPERA, Tero "WIDEBAND CDMA FOR THIRD GENERATION MOBILE COMMUNICATIONS"
s/ed. 1998 Artech House
London Inglaterra

HERNANDO, José M. "INTRODUCTION TO MOBILE COMMUNICATIONS ENGINEERING"
s/ed. 1999 Artech House
London Inglaterra

ASOCIACION DE INDUSTRIAS DE TELECOMUNICACIONES "THE CDMA2000 ITU-R RTT CANDIDATE SUBMISSION (0.18)"
s/ed. 1998 TIA

CAPÍTULO II

ERICSSON "CDMA2000 RF ENGINEERING WORKSHOP"
s/ed. 2003 Ericsson México

NOKIA "NOKIA NETWORKS"
s/ed. 2003 Nokia Japón

CAPÍTULO III

[1] KATHREIN "GUÍA PRÁCTICA KATHREIN MOBILCOM"
s/ed. 2003 Mobilcom Brasil
Sao Paulo Brasil

CAPÍTULO IV

KATHREIN "MANUAL DE PRODUCTOS EN CD–ROM"
s/ed. 2004 Mobilcom Brasil
Sao Paulo Brasil

ANEXO E

ERICSSON 5111_RBS 1127 Compact Product Description.pdf

ERICSSON 5147_Mini-Link E.pdf

KATHREIN "MANUAL DE PRODUCTOS EN CD–ROM"
s/ed. 2004 Mobilcom Brasil
Sao Paulo Brasil

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

CAPÍTULO I

[1] http://www.cdg.org/technology/3g/resource/3G_fact_sheet_spanish.pdf

[2] http://www.citel.oas.org/sp/citel%20XXI/Revista%20dos/citelXXI_2_07.pdf

[3] http://www.cdg.org/news/press/2001/espanol/aug13_01_span.asp

[4] http://www.phonescoop.com/glossary/

[5] http://www.ericsson.com.mx/wireless

[6] http://www.monografias.com/trabajos11/cdma/cdma.shtml

[7] http://www.monografias.com/trabajos3/pcscolombia/pcscolombia.shtml

CAPÍTULO III

http://www.andrew.com/products/antennas/tmw/default.aspx

http://www.control-systems.net/jdvelez/estudiantes/pcs/cdma.htm#La%20telefonía%20móvil

CAPÍTULO IV

[1] http://www.ericsson.com.mx/wireless/ products/mobsys/cdma/rbs2.shtml

CAPÍTULO V

http://www.andrew.com/products/antennas/tmw/antdes/AntennaSearch.aspx
http://www.andrew.com/shopping/default-accessories.aspx

ANEXO A

http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/telecomsis/walsh_codes%20_generation/cortogonal.htm

ANEXO A

GENERACIÓN DE CÓDIGOS WALSH

SECUENCIAS ORTOGONALES (CÓDIGOS WALSH)

Las secuencias de Walsh son códigos ortogonales utilizados principalmente para realizar el ensanchamiento y desensanchamiento del espectro. Esta es la base de CDMA que permite diferenciar un usuario de otro.

Dos secuencias binarias son ortogonales si después de realizar el proceso de "XOR" resulta un número igual de 1's y 0's.

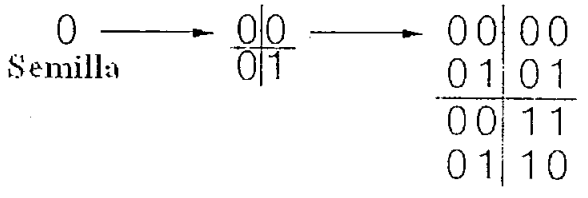
Ejemplo:

$$\begin{array}{r} 0000 \\ \textbf{XOR} \\ \underline{0101} \\ 0101 \end{array}$$

En CDMA no hay rehuso de frecuencias, y en lugar de asignar una portadora por usuario, se le asigna un código.

GENERACIÓN DE CÓDIGOS WALSH

Las secuencias de Walsh se pueden generar con la ayuda de las denominadas matrices de *Hadamard*, las cuales son matrices cuadradas. Cada fila o columna de una matriz de *Hadamard* es una secuencia de Walsh. Las matrices de *Hadamard* se pueden calcular utilizando la siguiente regla recursiva:



Generalizando, tenemos:

$$H_0 = 0$$

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_i = \begin{bmatrix} H_{(i-1)} & H_{(i-1)} \\ H_{(i-1)} & -H_{(i-1)} \end{bmatrix}$$

Se debe notar que todas las columnas y las filas son mutuamente ortogonales. Las siguientes propiedades se pueden derivar si se define la secuencia de Walsh *Wi* como la i-ésima fila o columna de una matriz de *Hadamar*d:

- Las secuencias de Walsh son secuencias binarias con valores de +1 y −1.
- La longitud de las secuencias de Walsh son siempre potencia de 2.
- Siempre hay L secuencias diferentes de longitud L.
- Las secuencias de Walsh son mutuamente ortogonales si están sincronizadas.
- Si dos secuencias de Walsh tienen desplazamiento en el tiempo, la función de correlación cruzada puede tomar valores mayores que el pico de la función de autocorrelación, el cual es igual a la longitud L de la secuencia. Aunque también es posible que la función de correlación cruzada tome un valor de cero incluso cuando existe cualquier desplazamiento en el tiempo.

En CDMA se utiliza como generador la matriz de Hadammard de orden 64.
El código 0 se utiliza para transmitir un canal piloto y los otros 63 códigos quedan disponibles para canales de tráfico.
Los códigos de Walsh sólo pueden utilizarse si se garantiza que no existen diferencias en los retardos de propagación, lo cual solo vale para el enlace directo.

CÓDIGO WALSH 64 BITS UTILIZADO EN CDMA

...0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3
4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

W0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

W1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1
. 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1

W2 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1

W3 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1
1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0

W4 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1

W5 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1
0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0

W6 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0

W7 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1
1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1

...0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3
4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

W8 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1

W9 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0
1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0

W10 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1
0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0

W11 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0
0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1

W12 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0

.

W13 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0
1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1

W14 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1
0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1

W15 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0
0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0

...0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3
4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

W16 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

W17 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1
0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0

W18 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0

W19 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1
1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1

W20 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0

W21 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1
0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1

W22 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0
1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1

W23 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1
1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0

...0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3
4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

W24 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0

W25 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0
1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1

W26 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1
0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1

W27 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0
0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0

W28 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1
1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1

W29 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0
1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0

W30 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1
0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0

W31 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0
0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1

...0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3
4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

W32 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

W33 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0
1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0

W34 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1
0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0

W35 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0
0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1

W36 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0

W37 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0
1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1

W38 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1
0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1

W39 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0
0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0

...0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3
4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

W40 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0

W41 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1
0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1

W42 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0
1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1

W43 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1
1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0

W44 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1

W45 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1
0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0

W46 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0
1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0

W47 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1
1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1

...0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3
4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

W48 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

W49 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0
1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1

W50 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1
0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1

W51 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0
0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0

W52 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1

W53 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0
1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0

W54 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1
0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0

W55 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0
0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1

.

...0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3
4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 5 6 7

W56 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1

W57 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1
0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0

W58 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0
1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0

W59 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1
1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1

W60 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0

W61 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1
0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1

W62 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0
1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1

W63 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0
0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0

ANEXO B

DISTRIBUCIÓN DE RADIO BASES EN EL PLANO DE LA CIUDAD DE AMBATO