

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL
LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Diseño de una Red Móvil de Comunicación utilizando Tecnología de
Espectro Ensanchado (SS) en la Ciudad de Guayaquil en la Banda de
Frecuencia ICM (2.4 - 2.4835) Ghz \equiv (2400 - 2483.5) Mhz”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentada por:

Patricia Chávez Burbano

Antonio Reinoso Herrera

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO
2004

AGRADECIMIENTO

Agradecemos:

Primeramente a Dios por la terminación de este trabajo.

Al Ing. Pedro Vargas, por su dedicación y esfuerzo para la culminación de nuestra carrera.

DEDICATORIA

A Dios,
A mi madre,
A mis familiares y
A mis amigos
Por su apoyo incondicional
PATRICIA CHÁVEZ BURBANO

A Dios,
A mis padres,
A mi hermano,
A mis tías y
A mi abuelita Carmen
Que con cariño y comprensión
Me ayudaron a culminar
Mi carrera profesional
ANTONIO REINOSO HERRERA

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Carlos Monsalve
DECANO DE LA FIEC

Ing. Pedro Vargas
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Cesar Yépez
MIEMBRO PRINCIPAL

Ing. Germán Vargas
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Patricia X. Chávez Burbano

Antonio G. Reinoso Herrera

RESUMEN

El Espectro Radioeléctrico es un recurso natural limitado por lo que las tecnologías que permiten su uso racional y conlleve una mejor administración del mismo, deben ser alentadas.

La Tecnología de Espectro Ensanchado, caracterizada por una baja densidad de potencia permite minimizar la posibilidad de interferencia, además de coexistir con sistemas de banda angosta.

Como la tendencia de tercera generación de telecomunicaciones es la utilización de PCS's, es decir, la concepción inalámbrica que le permita al usuario profesional que se desenvuelva en una economía globalizada reducir el número de dispositivos para que en un solo equipo ofrecer gran velocidad y capacidad para voz, datos y mensajes.

El Diseño de la Red de Comunicación Móvil para la Ciudad de Guayaquil usando Tecnología de Espectro Ensanchado ofrece una alternativa que permite mejorar el servicio de las Telecomunicaciones en el país y a la vez ser más asequible económicamente para el usuario final debido a que este tipo de tecnología permite obtener ventajas en el punto crucial de costos.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ABREVIATURAS	XX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXIII
INDICE DE TABLAS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN.....	1
1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL.....	3
1.1. Introducción	3
1.2. Componentes de una Red de Comunicación Móvil	3
1.2.1. Estación Fija (FS).....	4
1.2.1.1. Estación Base	4
1.2.1.2. Estación de Control	5
1.2.1.3. Estación Repetidora	5
1.2.2. Estación Móvil (MS)	6
1.2.3. Equipos de Control	6

1.2.3.1. Central de Conmutación Móvil (MSC)	6
1.2.3.2. Sistema de Multiplexación Digital (DMS)	7
1.3. Clasificación de los Sistemas Móviles.....	8
1.3.1. Modalidad de Funcionamiento	8
1.3.2. Sector de Aplicación.....	8
1.3.3. Banda de Frecuencia	9
1.3.4. Técnica de Multiacceso	9
1.3.4.1. Acceso Múltiple por División de Frecuencia.....	10
1.3.4.2. Acceso Múltiple por División de Tiempo.....	11
1.3.4.3. Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)	12
1.3.5. Capacidad de Comunicación	13
1.3.5.1. Sistemas Simples	14
1.3.5.2. Sistemas Dúplex	15
1.3.5.3. Sistemas Semidúplex	16
1.4. Cobertura Radioeléctrica	17
1.5. Calidad de los Sistemas Móviles	18

1.5.1. Calidad de Cobertura	18
1.5.2. Calidad de Terminal	18
1.5.3. Calidad de Disponibilidad	19
1.5.4. Calidad de Fiabilidad	19
1.5.5. Calidad de Fidelidad	19
1.6. Elementos del mundo de las Comunicaciones Móviles	19
1.6.1. Reguladores Nacionales e Internacionales	20
1.6.2. Fabricantes	21
1.6.3. Operadores	21
1.6.4. Proveedores de Servicio	21
1.6.5. Clientes y usuarios	22
2. TECNOLOGÍAS DE ESPECTRO ENSANCHADO	23
2.1. Introducción	23
2.2. Codificación	24
2.3. Clasificación	25
2.3.1. Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS)	26

2.3.2. Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia (FHSS).....	27
2.3.2.1. Salto de Frecuencia Lento.....	29
2.3.2.2. Salto de Frecuencia Rápido	29
2.3.3. Espectro Ensanchado de Salto de Tiempo (THSS)	30
2.3.4. Sistemas Híbridos	31
2.3.5. Sistemas FM de Pulsos (Chirp).....	32
2.4. Modulación y Demodulación	32
2.4.1. Modulación	32
2.4.2. Demodulación	33
2.5. Influencia de la Interferencia	34
2.5.1. Interferencia de Banda Angosta	35
2.5.2. Interferencia de Banda Ancha	36
2.6. Secuencia de Seudo-Ruido	37
2.6.1. Longitud.....	39
2.6.1.1. Código Corto	39
2.6.1.2. Código Largo.....	39

2.6.2. Tipos	40
2.6.2.1. Secuencia-m	40
2.6.2.2. Código Barrer.....	41
2.6.2.3. Códigos Gold.....	41
2.6.2.4. Códigos Hadamard-Walsh	42
2.7. Sincronización de la Secuencia	44
2.7.1. Incertidumbre de la fuente de sincronización	44
2.7.1.1. Incertidumbre de Tiempo.....	45
2.7.1.2. Incertidumbre de Frecuencia.....	45
2.8. Frecuencias de Operación	45
2.9. Aplicaciones.....	45
2.9.1. Comunicaciones Inalámbricas.....	46
2.9.2. Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	47
2.9.3. Sistemas de Comunicación Personal (PCS)	48
2.9.4. Telefonía Celular Digital (CDMA)	48
2.10. Ventajas y Desventajas	51

2.10.1. Ventajas	51
2.10.2. Desventajas.....	52
3. MARCO REGULATORIO DE LOS SISTEMAS ESPECTRO ENSANCHADO	53
3.1. Regulación en la Implementación y Operación de Sistemas Espectro Ensanchado en Ecuador.....	53
3.1.1. Organismos Reguladores.....	53
3.1.2. Disposiciones Generales.....	54
3.1.2.1. Asignación de Frecuencias	54
3.1.2.2. Sistemas Autorizados.....	55
3.1.3. Especificaciones de Operación	56
3.1.3.1. Potencia Máxima de Salida	56
3.1.3.2. Intensidad de Campo Eléctrico.....	57
3.1.3.3. Ancho de Banda de emisión y condiciones de uso de los canales	58
3.1.3.4. Ganancia de Procesamiento	59
3.1.4. Homologación de Equipos.....	59

3.1.4.1. Equipos de Reducido Alcance.....	59
3.1.4.2. Equipos de Gran Alcance.....	60
3.1.4.3. Equipos Terminales Individuales.....	62
3.1.4.4. Equipos Terminales Importados.....	63
3.1.5. Instalación y Operación.....	65
3.2. Regulación en la Implementación y operación de Sistemas	
Espectro Ensanchado en el Exterior.....	68
3.2.1. Organismo Regulador.....	69
3.2.2. Disposiciones Generales.....	71
3.2.2.1. Australia.....	71
3.2.2.2. Colombia.....	72
3.2.2.3. Paraguay.....	73
3.2.2.4. Estados Unidos.....	75
4. ANÁLISIS DE LA BANDA DE 2.4 Ghz EN EL MERCADO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.....	78
4.1. Introducción.....	78

4.2. Regiones y Zonas	79
4.3. Espectro Radioeléctrico	80
4.4. Plan Nacional de Frecuencias	80
4.5. Servicios de la Banda de 2.4 Ghz	81
4.5.1. Servicio Fijo	82
4.5.2. Servicio Móvil	82
4.5.3. Servicio de Radiolocalización	82
4.6. Empresas que operan en la Banda de 2.4 Ghz	82
4.7. Enlaces de Espectro Ensanchado a Nivel Nacional	83
4.8. Enlaces de Espectro Ensanchado en Azuay	89
4.9. Enlaces de Espectro Ensanchado en Pichincha	91
4.9.1. Enlaces de Espectro Ensanchado en Quito	95
4.10. Enlaces de Espectro Ensanchado en Guayas	97
4.10.1. Enlaces de Espectro Ensanchado en Guayaquil	101
5. PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA RED MÓVIL EMPLEANDO ESPECTRO ENSANCHADO	110

5.1. Planificación	110
5.1.1. Cobertura	111
5.1.2. Capacidad	113
5.1.3. Probabilidad de Bloqueo o Grado de Servicio.....	114
5.1.4. Probabilidad de Cobertura.....	114
5.2. Dimensionamiento	115
5.2.1. Ingeniería de Tráfico	115
5.2.1.1. Tráfico Transportado	116
5.2.1.2. Tráfico Bloqueado	116
5.2.1.3. Tráfico Ofrecido.....	117
5.2.1.4. Tráfico en Hora Pico.....	117
6. DISEÑO DE LA RED MÓVIL EMPLEANDO ESPECTRO ENSANCHADO DE SECUENCIA DIRECTA.....	120
6.1. Planificación de Capacidad y Cobertura	120
6.1.1. Configuración de Celdas	120
6.1.2. Determinación del número de Estaciones Base.....	120

6.1.3. Penetración de la Señal por Zona	123
6.1.4. Modelos de Pérdida en Edificios y Vehículos.....	123
6.2. Modelo de Propagación	125
6.3. Probabilidad de Servicio	126
6.3.1. Disponibilidad del Área.....	126
6.3.2. Límite de las Celdas	127
6.4. Margen de Desvanecimiento	131
6.5. Cálculo de Potencias de Transmisión.....	132
6.5.1. Potencia Radiada Isotrópica Efectiva (P.I.R.E.)	134
6.5.2. Presupuesto de Enlace	134
6.6. Proceso de Planeación del Sitio	139
6.6.1. Ubicación de Celdas	141
6.6.2. Consideraciones Prácticas en la selección del Sitio	141
6.7. Equipos Utilizados en el Diseño.....	144
6.7.1. Costo de los Equipos	148

7. DISEÑO DE LA RED MÓVIL EMPLEANDO ESPECTRO ENSANCHADO DE SALTO DE FRECUENCIA	150
7.1. Planificación de Capacidad y Cobertura	150
7.1.1. Configuración de Celdas	150
7.1.2. Determinación del número de Estaciones Base.....	150
7.1.3. Penetración de la Señal por Zona	153
7.1.4. Modelos de Pérdida en Edificios y Vehículos.....	154
7.2. Modelo de Propagación	155
7.3. Probabilidad de Servicio	155
7.3.1. Disponibilidad del Área.....	156
7.3.2. Límite de las Celdas	156
7.4. Margen de Desvanecimiento	158
7.5. Cálculo de Potencias de Transmisión	160
7.5.1. Potencia Radiada Isotrópica Efectiva (P.I.R.E.)	161
7.5.2. Presupuesto de Enlace	161
7.6. Proceso de Planeación del Sitio	166

7.6.1. Ubicación de Celdas	167
7.6.2. Consideraciones Prácticas en la selección del Sitio	169
7.7. Equipos Utilizados en el Diseño.....	170
7.7.1. Costo de los Equipos	174
8. SIMULACIONES DE ESPECTRO ENSANCHADO EN MATLAB	176
8.1. Introducción	176
8.2. Espectro Ensanchado de Secuencia Directa	177
8.2.1. Simulación en Caso Ideal.....	177
8.2.2. Simulación con presencia de Ruido Blanco	182
8.2.3. Simulación con Interferencia	184
8.3. Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia	186
8.3.1. Simulación en Caso Ideal.....	187
8.3.2. Simulación con presencia de Ruido	189
8.3.3. Simulación con Interferencia	190
8.4. Comparación entre ambas Tecnologías	192

CONCLUSIONES	194
--------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A: Interferencia en Sistemas Espectro Ensanchado.....	197
---	-----

ANEXO B: Formularios para la operación de un Sistema Espectro Ensanchado	202
---	-----

ANEXO C: Canal de Enlace de Comunicaciones y Equipos de Control en una BTS.....	218
--	-----

ANEXO D: Resultados de las Simulaciones	224
---	-----

BIBLIOGRAFÍA.....	226
-------------------	-----

ABREVIATURAS

A:	Pérdida de señalización
a_6 :	Coefficiente de valoración del espectro para los Sistemas de Espectro Ensanchado
AMPS:	Servicio Avanzado de Telefonía Móvil
B:	Constante de servicio para los Sistemas de Espectro Ensanchado
b_6 :	Coefficiente de corrección para los Sistemas de Espectro Ensanchado
BER:	Tasa de Error de Bit
BPSK:	Desplazamiento en Fase Binaria
BTS:	Sistema Transreceptor Base
C:	Factor de corrección de ambiente
CDMA:	Acceso Múltiple por División de Código
CEM:	Channel Elements Module
CONATEL:	Consejo Nacional de Telecomunicaciones
D:	Distancia
dB:	decibeles
dBm:	Potencia en decibeles referidos a 1 mW
DMS:	Sistema de Multiplexación Dígital
DOD:	Departamento de Defensa de los Estados Unidos
DPM:	Duplexor
DSSS:	Espectro Ensanchado de Secuencia Directa
d_t :	Bits de datos
E_b/N_0 :	Energía de Bit a Ruido
E_b/N_t :	Energía por bit para la densidad espectral de ruido
ESN:	Número de Serie Electrónico
F:	Frecuencia
f_c :	Frecuencia Central
FCC:	Comisión Federal de Comunicaciones
FDMA:	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
FHSS:	Frequency Hopping Spread Spectrum
FM:	Frecuencia Modulada
FSK:	Desplazamiento en fase binaria
G:	Ganancia

GoS:	Grado de Servicio
G _P :	Ganancia de procesamiento
GSM:	Sistema Global para las comunicaciones móviles
G _{WGN} :	Densidad espectral de ruido blanco
H:	Altura efectiva de la antena
ICM:	Investigación Científica Médica
K _a :	Factor de ajuste por inflación
KTB :	Ruido de Interferencia
L:	Pérdida
MPAM:	Módulo Amplificador
MS:	Estación Móvil
MSC:	Central de Commutación Móvil
MTRM:	Módulo Convertidor
N _c :	Longitud de la secuencia
No:	Potencia del Ruido sobre el ancho de Banda del Canal
NTE:	Número de estaciones fijas, bases y móviles
PCS:	Sistema de Comunicación Personal
PIRE:	potencia isotrópica radiada efectiva
PN:	secuencia de pseudo-ruido
pn _t :	ruido determinístico
PSTN :	Red Telefónica Pública Commutada
R _c :	Tasa de chip
RF:	Radio Frecuencia
rx _b :	Señal recibida
SF:	Factor de expansión del ancho de banda
SNT :	Secretaría Nacional de Telecomunicaciones
SS:	Espectro Ensanchado
SSRG:	Generador simple de registros de desplazamiento
SUPTTEL:	Superintendencia de Telecomunicaciones
TDMA:	Acceso Múltiple por División de Tiempo
THSS:	Espectro ensanchado de salto de tiempo
TIA:	Asociación de la Industria de Telecomunicaciones
tx _b :	Flujo de bits codificados
UHF:	Ultra High Frequency
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones

VHF: Very High Frequency
W: Vatios
W-CDMA: Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha
WGN: Ruido blanco
WLAN: Redes Inalámbricas de Area Local
WRC: Conferencia Mundial de Radio
W_{SS}: Ancho de Banda de Spread Spectrum

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Sistema de Comunicación Móvil	4
Figura 1.2.	Esquema detallado de un Sistema de Comunicación Móvil	7
Figura 1.3.	Espectro FDMA	10
Figura 1.4.	Sistema FDMA de 3 canales con recepción en $f_c/2$	10
Figura 1.5.	Espectro TDMA	11
Figura 1.6.	Ejemplo de multiacceso CDMA	12
Figura 1.7.	Esquema de Transmisor y Receptor CDMA	13
Figura 1.8.	Modos de Operación de los Sistemas Móviles	14
Figura 1.9.	Ejemplo de Canal Simplex a dos frecuencias	15
Figura 1.10.	Ejemplo de un Sistema Semidúplex	16
Figura 1.11.	Sub-bandas de frecuencias portadoras	17
Figura 2.1.	Modelo General de un Sistema Digital con Espectro Ensanchado	24
Figura 2.2.	Comparación entre la señal de datos, la secuencia PN y la señal transmitida	25
Figura 2.3.	Sistema SS mediante Secuencia Directa	26
Figura 2.4.	Ejemplo de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa	27
Figura 2.5.	Sistema SS mediante Salto de Frecuencia	28
Figura 2.6.	Visualización en 3D de las señales FHSS	29
Figura 2.7.	Comparación entre Sistema FHSS de Salto Rápido y Sistema FHSS de Salto Lento	30
Figura 2.8.	Ejemplo de SS mediante Salto de Tiempo	30
Figura 2.9.	Ejemplo de SS mediante Sistema Híbrido DS/FH	31
Figura 2.10.	Ejemplo básico de transmisión en ambiente multi-usuario	33
Figura 2.11.	Modelo simplificado de un Sistema SS con interferencia	34
Figura 2.12.	Influencia de la Interferencia de Banda Angosta	36
Figura 2.13.	Influencia de la Interferencia de Banda Ancha	36
Figura 2.14.	Interferencia proveniente de múltiples usuarios	37
Figura 2.15.	Interferencia por Ruido Gaussiano	37
Figura 2.16.	Comparación entre Sistema DSSS de Código Corto y Sistema DSSS de Código Largo	39
Figura 2.17.	Componentes del Sistema de Posicionamiento Global	47
Figura 2.18.	Sistema CDMA de Secuencia Directa	49
Figura 4.1.	Regiones en que la UIT ha dividido al mundo	79
Figura 4.2.	Segmento correspondiente a la banda de 2.4GHZ del Cuadro de Atribución del Espectro Radioeléctrico	81
Figura 4.3.	Enlaces de Espectro Ensanchado a Nivel Nacional por Frecuencia de Operación	83
Figura 4.4.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz a Nivel Nacional por Provincia	84
Figura 4.5.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz por Provincia y Sistema	85

Figura 4.6.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz por Sistema.....	86
Figura 4.7.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz por Operadora y Sistema.....	86
Figura 4.8.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz a Nivel Nacional por Operadora	87
Figura 4.9.	Potencia de los Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz a Nivel Nacional	89
Figura 4.10.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca por Sistema	89
Figura 4.11.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca por Operadora	90
Figura 4.12.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca por Operadora y Sistema	90
Figura 4.13.	Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca	91
Figura 4.14.	Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca por Sistema	91
Figura 4.15.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha	92
Figura 4.16.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha por Sistema	93
Figura 4.17.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha por Operadora	93
Figura 4.18.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha por Operadora y Sistema	94
Figura 4.19.	Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha	94
Figura 4.20.	Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha por Sistema.....	95
Figura 4.21.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Quito por Sistema	96
Figura 4.22.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Quito por Operadora y Sistema.....	96
Figura 4.23.	Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Quito por Sistema.....	97
Figura 4.24.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas	98
Figura 4.25.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas por Sistema	98
Figura 4.26.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas por Operadora	99
Figura 4.27.	Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas por Operadora y Sistema	100
Figura 4.28.	Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas	100

Figura 4.29. Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas por Sistema	101
Figura 4.30. Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Sistema	102
Figura 4.31. Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Operadora	102
Figura 4.32. Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Operadora y Sistema	103
Figura 4.33. Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil	103
Figura 4.34. Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Sistema	104
Figura 4.35. Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Parroquia.....	105
Figura 4.36. Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Parroquia y Sistema	106
Figura 4.37. Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Tarqui por Sistema	106
Figura 4.38. Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Tarqui por Operadora	107
Figura 4.39. Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Tarqui	108
Figura 4.40. Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Tarqui por Sistema	108
Figura 5.1. Esquema de Planificación del Diseño de un Sistema de Comunicación Móvil	110
Figura 5.2. Planificación Nominal	111
Figura 5.3. Mapa de la Ciudad de Guayaquil	112
Figura 5.4. Tipos de Zonas.....	113
Figura 5.5. Dimensionamiento del Sistema	115
Figura 6.1. Gráfica de Distribución Normal.....	128
Figura 6.2. Nivel de Señal para un Radio sector de la BTS en el sector de Urdesa Norte	130
Figura 6.3. Ubicación de las Celdas para la Red de Comunicación Móvil con Tecnología Espectro Ensanchado de Secuencia Directa	143
Figura 6.4. Antenas para BTS	145
Figura 6.5. Equipos de Radio Enlace MINI-LINK E	146
Figura 7.1. Ubicación de las Celdas para la Red de Comunicación Móvil con Tecnología Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia.....	168
Figura 7.2. Equipos de Radio Enlace MINI – LINK.....	172
Figura 8.1. Diagrama de Bloques del Sistema DSSS Ideal con Expansión previa a la Modulación	178

Figura 8.2.	Señales en el Tiempo del Bloque Transmisor de un Sistema DSSS ideal con Expansión previa a la Modulación ...	178
Figura 8.3.	Señal SS en la Frecuencia de un Sistema DSSS ideal con Expansión previa a la Modulación	179
Figura 8.4.	Señales en el Tiempo del Bloque Receptor de un Sistema DSSS ideal con Expansión previa a la Modulación	179
Figura 8.5.	Diagrama de Bloques del Sistema DSSS Ideal con Expansión posterior a la Modulación.....	180
Figura 8.6.	Señales en el Tiempo del Bloque Transmisor de un Sistema DSSS ideal con Expansión posterior a la Modulación.....	181
Figura 8.7.	Señal SS en la Frecuencia de un Sistema DSSS ideal con Expansión posterior a la Modulación.....	181
Figura 8.8.	Señales en el Tiempo del Bloque Receptor de un Sistema DSSS ideal con Expansión posterior a la Modulación.....	182
Figura 8.9.	Diagrama de Bloques del Sistema DSSS con Ruido Blanco y Expansión posterior a la Modulación	183
Figura 8.10.	BER vs E_b/N_0 del Sistema DSSS con Ruido Blanco y Expansión posterior a la Modulación.....	184
Figura 8.11.	Comparación entre Datos Enviados y Datos Recuperados en un Sistemas DSSS con Ruido Blanco	184
Figura 8.12.	Diagrama de Bloques del Sistema DSSS con Expansión posterior a la Modulación, Ruido Blanco e Interferencia	185
Figura 8.13.	Relación BER vs. Número de Señales de Interferencia de un Sistema DSSS	186
Figura 8.14.	Diagrama de Bloques del Sistema FHSS Ideal	187
Figura 8.15.	Señales SS de diferentes instantes en el dominio de la frecuencia de un Sistema FHSS Ideal.....	188
Figura 8.16.	Diagrama de Bloques del Sistema FHSS con Ruido Blanco...	189
Figura 8.17.	Relación BER vs. E_b/N_0 del Sistema FHSS con Ruido Blanco	190
Figura 8.18.	Diagrama de Bloques del Sistema FHSS con Ruido Blanco e Interferencia	191
Figura 8.19.	Relación BER vs. Número de Señales de Interferencia de un Sistema FHSS	191
Figura 8.20.	Relación BER vs E_b/N_0	192
Figura 8.21.	Relación BER vs. Número de Señales de Interferencia	193

INDICE DE TABLAS

Tabla I.	Características de Bandas VHF y UHF	9
Tabla II.	Bandas de Frecuencia ICM	45
Tabla III.	Potencia Máxima para Sistemas en la Banda de 2.4 GHZ.....	57
Tabla IV.	Número de Canales de Salto	58
Tabla V.	Ganancia de Procesamiento	59
Tabla VI.	Valores de B para los diferentes sistemas	67
Tabla VII.	Valores de NTE para los diferentes sistemas.....	67
Tabla VIII.	Potencia de equipos para Bandas ICM	72
Tabla IX.	Bandas de Frecuencia del Espectro Radioeléctrico	80
Tabla X.	Parroquias urbanas de Guayaquil	104
Tabla XI.	Probabilidad de Bloqueo	117
Tabla XII.	Tráfico de Erlang-B con P(0.2)	118
Tabla XIII.	Penetración de la señal de RF	119
Tabla XIV.	Pérdidas típicas de Penetración.....	124
Tabla XV.	Modelos de Propagación.....	125
Tabla XVI.	Factores de Corrección	126
Tabla XVII.	Probabilidad Compuesta de Servicio	132
Tabla XVIII.	Factores de la Potencia de Salida de una Celda.....	133
Tabla XIX.	Cálculo de Potencias.....	133
Tabla XX.	Cálculo del PIRE en Guayaquil	134
Tabla XXI.	Presupuesto de Enlace de señalización Directa	135
Tabla XXII.	Presupuesto de un enlace de Señalización Inversa	138
Tabla XXIII.	Asignación de Frecuencia para los Canales	144
Tabla XXIV.	Especificaciones Técnicas de las Antenas.....	145
Tabla XXV.	Parámetros de Antenas para Radio-Enlaces	146
Tabla XXVI.	Sensibilidad de Recepción por Tasa de Tráfico	147
Tabla XXVII.	Equipos de la Red Móvil DSSS	147
Tabla XXVIII.	Costos de los Equipos.....	149
Tabla XXIX.	Penetración de la Señal RF.....	153
Tabla XXX.	Pérdidas típicas de Penetración.....	154
Tabla XXXI.	Probabilidad Compuesta de Servicio	159
Tabla XXXII.	Cálculo de Potencias.....	160
Tabla XXXIII.	Cálculo del PIRE en Guayaquil	161
Tabla XXXIV.	Presupuesto de Enlace de señalización Directa	163
Tabla XXXV.	Presupuesto de un enlace de Señalización Inversa	165
Tabla XXXVI.	Asignación de Frecuencias para los Canales	170
Tabla XXXVII.	Sensibilidad de Recepción por Tasa de Tráfico	172
Tabla XXXVIII.	Equipos de la Red Móvil FHSS	173
Tabla XXXIX.	Costos de los Equipos.....	174

INTRODUCCION

La Tecnología de Espectro Ensanchado es empleada en el Diseño de la Red de Comunicación Móvil, debido a las ventajas proporcionadas por este tipo de Sistemas, entre las cuales podemos mencionar: baja potencia, rechazo a la interferencia y bloqueo, coexistencia con otros sistemas de banda angosta y bajo costo.

Se analizó nuestro Marco Regulatorio con respecto a los Sistemas de Espectro Ensanchado, su normalización, los tipos de modulación utilizados y las técnicas que se han desarrollado, para que nuestro diseño cumpla con todos estos requerimientos legales; al mismo tiempo que se comparó la Regulación de estos Sistemas con la de otros países.

Se realizó un Análisis de la Banda de 2.4 Ghz en el Mercado Nacional lo que nos permitió observar los tipos de servicios que se ofrecen en ella, el número de operadores actuales, y determinar para que sector se recomienda el uso de esta banda.

En el Diseño de los Sistemas para la Ciudad de Guayaquil, el primero con Tecnología de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa y el segundo con Salto de Frecuencia se obtuvo el número de celdas necesarias para cubrir la Ciudad de Guayaquil y todos el equipo necesario para satisfacer los parámetros de Cobertura, Tráfico y características de la celdas para ambas modalidades de Espectro Ensanchado.

Finalmente, mediante el uso de la herramienta Simulink de MatLab se simuló los sistemas de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa y Salto de Frecuencia; permitiéndonos así, conjuntamente con todos los análisis anteriores, comparar ambos sistemas.

CAPÍTULO 1

1. Sistemas de Comunicación Móvil

1.1. Introducción

Se denomina comunicación móvil a cualquier enlace de radiocomunicación entre dos terminales, de los cuales al menos uno está en movimiento, o estático en una localización indeterminada, pudiendo ser el otro un terminal fijo, tal como una estación base.

1.2. Componentes de una Red de Comunicación Móvil

Los componentes de un sistema de radiocomunicación móvil son:

- Estaciones Fijas
- Estaciones Móviles y
- Equipos de control

En los sistemas de telecomunicaciones se distingue entre la red de acceso y la red de tránsito. En el caso de los sistemas móviles la red de acceso es inalámbrica y se realiza a través de una interfaz aérea.

El hardware ubicado en una estación base incluye lo siguiente:

- Fuentes de alimentación
- Equipo de interface (equipo común)
- Transceptores de frecuencia de radio
- Sistemas de antena

1.2.1.2. Estación de Control

Son estaciones que controlan automáticamente las emisiones o el funcionamiento de otra estación fija (estación base o repetidora) dentro de un área definida. Incluye control lógico, facilidades de multiplexación en comunicación de datos y equipo de demultiplexación. Se encargan de sincronizar el funcionamiento de los transmisores y controlar los niveles de potencia radiales.

1.2.1.3. Estación Repetidora

Estaciones que retransmiten las señales para conseguir una gran cobertura. Pueden emplearse para el relleno de zonas de sombras o para la cobertura de zonas no accesibles por la estación base. Se suelen ubicar en lugares altos.

1.2.2. Estación Móvil (MS)

La estación móvil, también denominada terminal, es la interface del usuario con la red de comunicación, por lo cual suele representar el único elemento del sistema que el usuario llega a ver. Incluye equipos portátiles, que acompañan al usuario y equipos transportables que pueden montarse en vehículos.

El fabricante asigna un número de serie electrónico (ESN) único de 32 bits a cada estación móvil, el cual le sirve como identificador permanente y privado.

1.2.3. Equipos de control

Lo conforman los dispositivos necesarios para el gobierno de las estaciones bases, la generación, recepción y transferencia de llamadas, localización e identificación de usuarios (equipos, vehículos, etc.) y señalización de canales. Incluyen los terminales de datos, mini ordenadores, controladores.

1.2.3.1. Central de Conmutación Móvil (MSC)

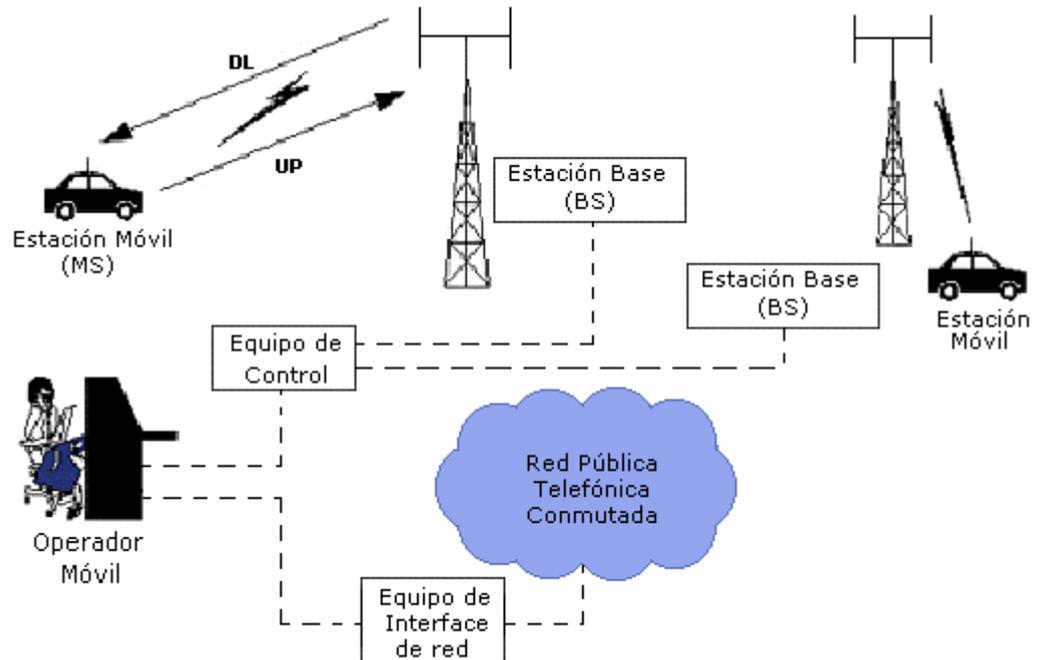
Se define como una red de conmutación que interconecta llamadas entre estaciones móviles o entre una estación móvil y la Red Telefónica Pública

Conmutada (PSTN). La MSC es necesaria para la capacidad de realizar llamadas internacionales.

1.2.3.2. Sistema de Multiplexación Digital (DMS)

Es una computadora que emplea paquetes de software para aplicaciones de telecomunicaciones. Este sistema es el responsable de establecer y desconectar llamadas, y se encarga de las funciones de facturación y monitoreo.

En la figura 1.2 se puede apreciar el esquema detallado de un sistema de comunicación móvil.



Fuente: <http://fer1805.galeon.com/celular.htm>

Figura 1. 2 Esquema detallado de un Sistema de Comunicación Móvil

1.3. Clasificación de los Sistemas Móviles

Los sistemas de comunicación móvil se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios:

- Modalidad de funcionamiento
- Sector de aplicación
- Banda de frecuencia empleada
- Técnica de multiacceso
- Modulación y canalización
- Capacidad de Comunicación

1.3.1. Modalidad de Funcionamiento

Por la forma en que funcionan se clasifican en:

- *Sistemas de Radiomensajería*: transmisiones solo desde la estación fija.
- *Sistemas de Radiotelefonía*: transmisiones en ambos sentidos.

1.3.2. Sector de Aplicación

De acuerdo al sector en el cual se aplicaran, se dividen en:

- Sistemas Públicos
- Sistemas Privados
- Sistemas de Telefonía Inalámbrica

1.3.3. Banda de Frecuencia

Cada banda de frecuencia presenta distintas particularidades que la hacen idónea para una aplicación concreta.

En la tabla I podemos observar estas características para las bandas UHF y VHF.

Tabla I Características de Bandas VHF y UHF

Característica	Banda			
	VHF baja	VHF alta	UHF baja	UHF alta
Aplicación típica	Rural	Rural/urbana	Urbana	Urbana
Penetración	Mínima	Media	Alta	Alta
Pérdida por vegetación	Mínima	Media	Alta	Alta
Multitrayectoria	Escaso	Apreciable	Pronunciado	Alto
Interferencia Sobrecanal	Máxima	Media	Baja	Baja
Ruido del ambiente	Alto	Medio	Bajo	Bajo
Disponibilidad de canales	Casi nula	Muy poca	Poca	Mediana
Tamaño de antenas	Grande	Medio	Pequeño	Pequeño
Ganancia de antenas	Mínima	Media	Alta	Alta
Canalización	25 KHz	12.5 KHz	12.5 KHz	25/200 KHz
Alcance típico (base-móvil)	30 Km.	20 km	10 km	4 km

1.3.4. Técnica de Multiacceso

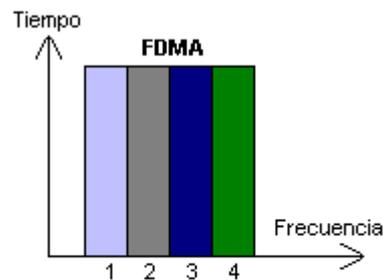
De acuerdo a la metodología y técnica utilizadas por los terminales para emplear los recursos comunes de la red, los sistemas de comunicación móvil se clasifican en:

- Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

- Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)
- Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)

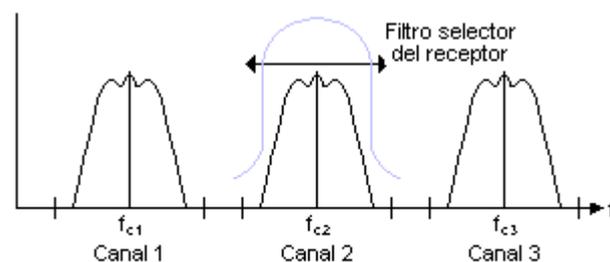
1.3.4.1. Acceso Múltiple por División de Frecuencia

Las transmisiones de diferentes usuarios se separan en frecuencia utilizando portadoras distintas, como se puede apreciar en la figura 1.3. Los receptores seleccionan el canal deseado mediante sintonización, ver figura 1.4.



Fuente: Wireless and Personal Communications Systems Pg. 42

Figura 1. 3 Espectro FDMA



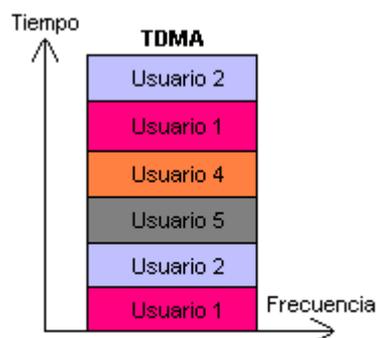
Fuente: Comunicaciones Móviles Pg. 60
José María Hernando Rábanos

Figura 1. 4 Sistema FDMA de 3 canales con recepción en f_{c2}

Esta tecnología no aprovecha ni utiliza los silencios en las comunicaciones de voz debido a que divide el ancho de banda en canales fijos de tal forma que una llamada ocupa el canal completo.

1.3.4.2. Acceso Múltiple por División de Tiempo

Permite que varias redes o terminales compartan una frecuencia utilizándola durante períodos de tiempo, denominados ranuras, y no de manera permanente. Ver figuras 1.5.



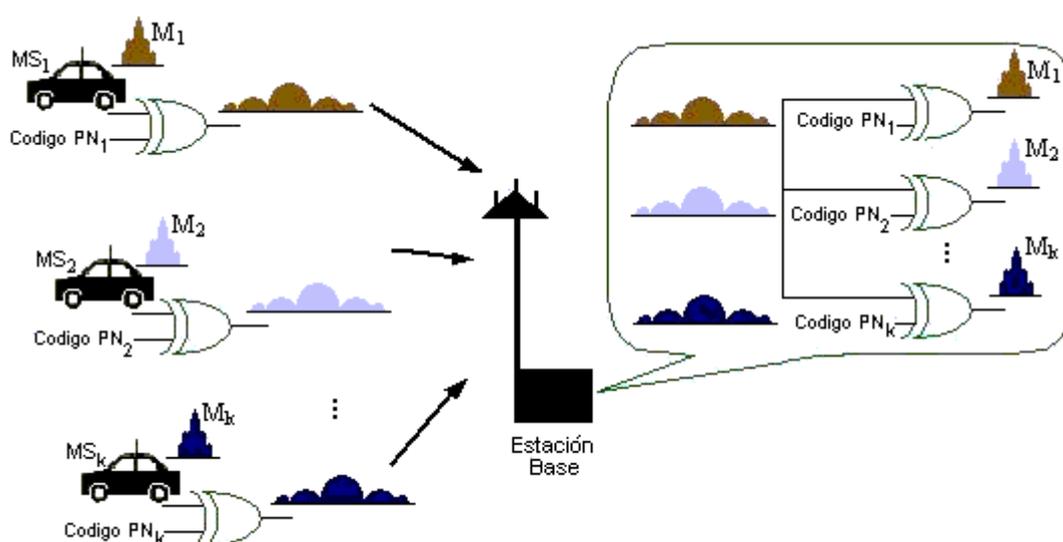
Fuente: Wireless and Personal Communications Systems Pg.42

Figura 1. 5 Espectro TDMA

Esta técnica solo es viable con sistemas de transmisión digital. Se empleó en las redes de comunicación celular GSM (Sistema Global para las comunicaciones móviles) de segunda generación.

1.3.4.3. Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)

Los usuarios comparten la misma frecuencia todo el tiempo, pero superponen a la información digital transmitida una secuencia pseudo-aleatoria, que sirve como código único de dirección. La utilización de esta secuencia hace irreconocible la información transmitida para posibles intrusos y para los otros receptores. Ver figura 1.6.

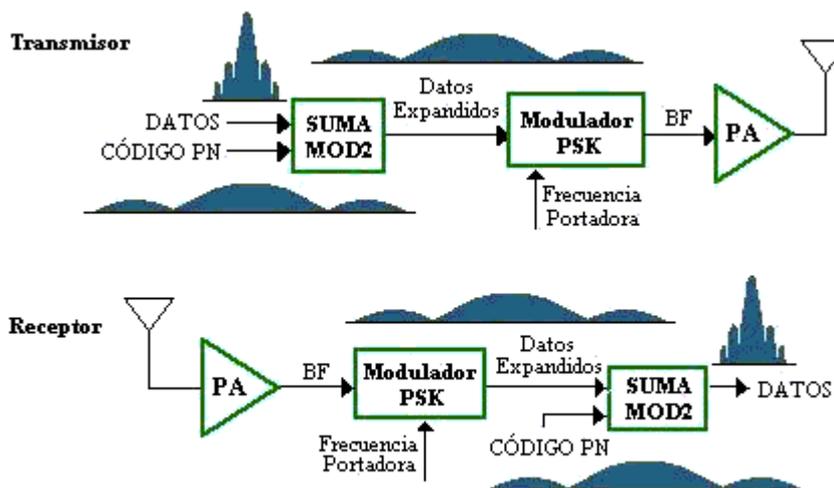


Fuente: <http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/apuntes/sistcom/capitulo4pagina1>

Figura 1. 6 Ejemplo de multiacceso CDMA

Esta técnica implica un ensanchamiento del espectro de frecuencia transmitido por lo que se lo denomina Espectro Ensanchado (SS). En figura 1.7 se pueden apreciar como la señal de datos cambia en función

de la frecuencia durante los procesos de transmisión y recepción.



Fuente: <http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/apuntes/sistcom/capitulo2paginal.htm>

Figura 1. 7 Esquema de Transmisor y Receptor CDMA

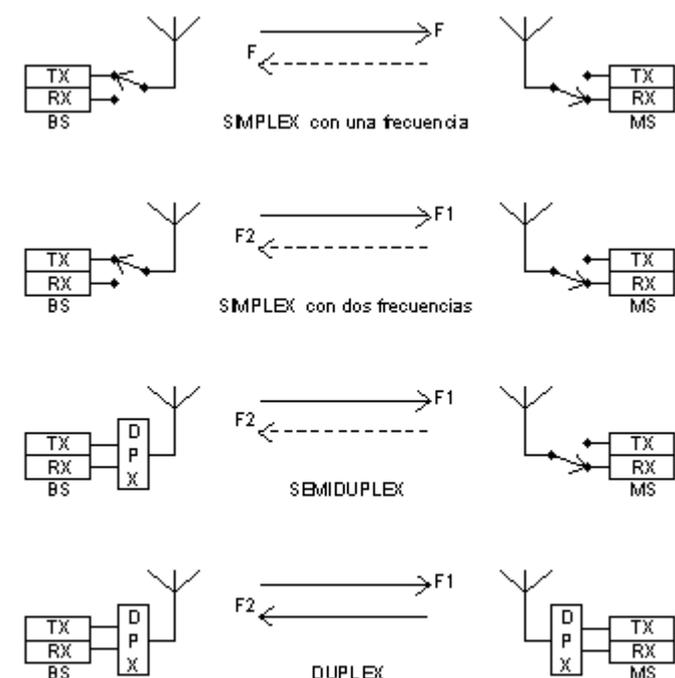
Esta técnica se emplea en las redes de comunicación celular de segunda y tercera generación, gracias a sus variaciones CDMA2000 y WCDMA.

1.3.5. Capacidad de Comunicación

Existen tres tipos de sistemas móviles de acuerdo a su capacidad de comunicación:

- Sistemas Simplex (convencionales y a dos frecuencias)
- Sistemas Semidúplex
- Sistemas Dúplex

La figura 1.8 esquematiza la comunicación que se realiza para cada uno de estos sistemas.



Fuente: Comunicaciones Móviles Pg. 8
José María Hernando Rábanos

Figura 1. 8 Modos de Operación de los Sistemas Móviles

1.3.5.1. Sistemas Simplex

En los sistemas simplex la transmisión y la recepción se efectúan en forma secuencial y en un solo sentido cada vez.

Los canales simplex convencionales emplean la misma frecuencia para transmisión y recepción. Cualquier equipo puede oír y hablar con cualquier otro dentro de la zona de cobertura mutua, lo cual es una

ventaja; pero la intensa interferencia cocanal es un grave inconveniente de estos sistemas. Para reducir la interferencia se requiere un aislamiento adecuado, mediante la separación física de equipos.

En el caso de los canales simplex a dos frecuencias, la separación transmisor-receptor no es física, sino que se hace en frecuencia. Se establecen canales de dos frecuencias separadas de cuatro a cinco MHz, como se muestra en la figura 1.9. Debido a este tipo de separación, los móviles sólo se pueden comunicar con la base, lo cual podría acarrear llamadas inconclusas y cargas innecesarias.

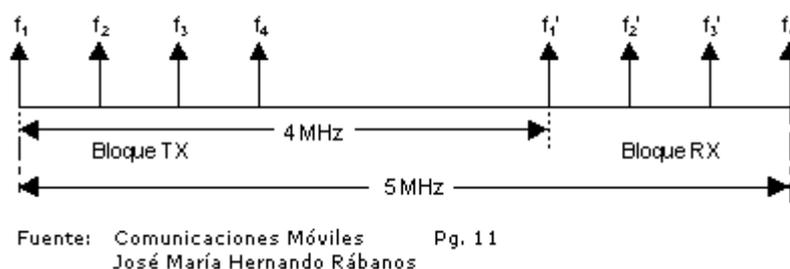


Figura 1. 9 Ejemplo de Canal Simplex a dos frecuencias

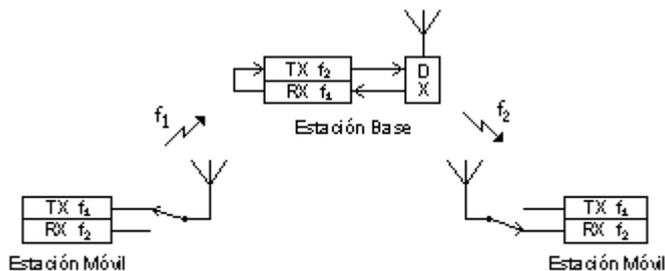
1.3.5.2. Sistemas Dúplex

También se denominan canales “Full-Dúplex”. En estos sistemas tanto las estaciones base como las

móviles poseen dos frecuencias separadas por lo menos tres MHz y duplexores para permitir la transmisión y recepción en forma simultánea. En este sistema tampoco es posible la comunicación directa móvil con móvil, se requiere pasar por la estación base.

1.3.5.3. Sistemas Semidúplex

Cuando un sistema es simplex en un extremo y dúplex en el otro, se denomina semidúplex. La figura 1.10 muestra un esquema semidúplex.



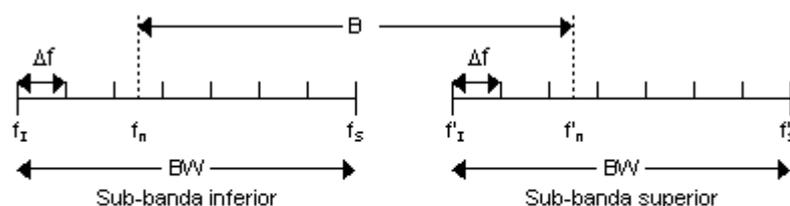
Fuente: Comunicaciones Móviles Pg. 12
José María Hernando Rábanos

Figura 1. 10 Ejemplo de un Sistema Semidúplex

La estación base consta de un duplexor (DX) que le permite utilizar una antena para la recepción y transmisión simultáneas. Las estaciones móviles poseen un conmutador de antena, por lo cual se

encuentran limitadas a la comunicación en un solo sentido.

Para los sistemas semidúplex y dúplex las frecuencias portadoras se habilitan en forma de una banda constituida por dos sub-bandas con una separación B entre frecuencias homólogas, como se puede apreciar en la figura 1.11. Cada pareja de frecuencias homólogas forma un radiocanal.



Fuente: Comunicaciones Móviles José María Hernando Rábanos Pg. 28

Figura 1. 11 Sub-bandas de frecuencias portadoras

1.4. Cobertura Radioeléctrica

Se denomina zona de cobertura radioeléctrica de la estación base a la superficie en torno a ella en la que la señal disponible para los móviles tiene un valor superior al umbral de funcionamiento. La cobertura zonal se refiere a toda esta superficie, mientras que la cobertura perimetral afecta a una zona anular situada en el límite de la cobertura teórica.

1.5. Calidad de los Sistemas Móviles

Los sistemas móviles plantean determinadas exigencias de calidad que se cuantifican mediante parámetros característicos que se especifican en los diseños. Las características básicas de calidad son:

- Calidad de cobertura
- Calidad de Terminal
- Calidad de Disponibilidad
- Calidad de Fiabilidad
- Calidad de Fidelidad

1.5.1. Calidad de Cobertura

La calidad de cobertura se determina mediante:

- *Extensión*: tamaño de la zona de cobertura.
- *Escenario*: entorno que se desea cubrir.
- *Grado*: porcentaje perimetral y zonal de ubicaciones que se desea comunicar.

1.5.2. Calidad de Terminal

El alcance del enlace bidireccional de cobertura debe ser simétrico. Se establecen grados de calidad para los diferentes terminales móviles.

1.5.3. Calidad de Disponibilidad

Especifica la facilidad de acceso y utilización de un canal por parte del equipo terminal. Depende de la calidad de cobertura y del grado de congestión por tráfico de los canales disponibles.

1.5.4. Calidad de Fiabilidad

Expresa el porcentaje temporal máximo admisible de interrupciones o caídas de llamadas debido a averías, fallos de alimentación, interferencias intensas externas, etc.

1.5.5. Calidad de Fidelidad

Se refiere al grado de inteligibilidad y claridad de la señal recibida si es de voz, o la tasa de errores si la señal es de datos.

1.6. Elementos del mundo de las Comunicaciones Móviles

Los elementos del panorama global de las telecomunicaciones son:

- Reguladores Nacionales e Internacionales
- Fabricantes
- Operadores
- Proveedores de Servicio
- Clientes y Usuarios

1.6.1. Reguladores Nacionales e Internacionales

Los organismos reguladores establecen las normas que protegen a consumidores y usuarios, determinan las reglas que aseguran una competencia leal entre empresas y la buena utilización del espectro radioeléctrico, debido a que este es un recurso escaso.

La Conferencia Mundial de Radio (WRC), una de las secciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), determina cada dos años las normas para la utilización del espectro radioeléctrico; de tal forma que cada administración nacional determina su propio uso del espectro, basándose en las recomendaciones de la WRC. En el caso de Ecuador, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) y la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) son los organismos encargados de normar y administrar el uso del espectro radioeléctrico.

En lo que se refiere a los derechos de la competencia y la defensa de los consumidores, cada país depende también de su administración, en el caso de nuestro país el organismo encargado es la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL).

1.6.2. Fabricantes

Son los encargados de desarrollar productos y sistemas para que un operador disponga de una red y los usuarios de equipos para conectarse a la misma.

Entre los principales fabricantes podemos mencionar a: Lynx, Cisco, Hewlett Packard.

1.6.3. Operadores

Son empresas que han conseguido licencia o autorización de la Administración nacional para instalar y operar una red de telecomunicaciones. Mantienen la infraestructura para el tránsito de tráfico.

En nuestro país podemos mencionar a los siguientes operadores: Pacifictel, Andinatel.

1.6.4. Proveedores de Servicio

Son empresas intermediarias entre los operadores de red y los clientes. Adquieren minutos de tráfico a los operadores de red y configuran paquetes de servicios de telecomunicaciones que venden a los clientes finales. Deben soportar los sistemas de facturación y atención al cliente. Un ejemplo clásico son los proveedores de internet.

1.6.5. Clientes y Usuarios

Comúnmente se confunden los términos cliente y usuario, pero debe tenerse en cuenta que no son iguales. Los clientes son los que adquieren servicios de telecomunicación a los proveedores según sus necesidades, mientras que los usuarios son los que utilizan estos servicios. Los clientes y usuarios definen los requisitos finales de servicio que debe configurar su proveedor.

CAPÍTULO 2

2. Tecnología De Espectro Ensanchado

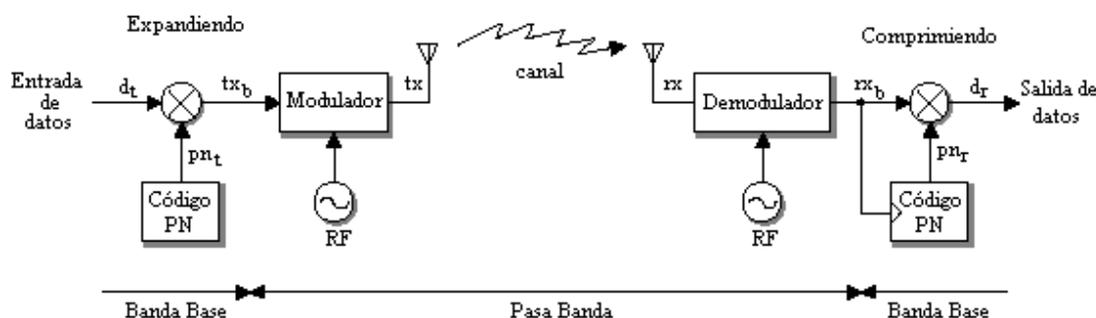
2.1. Introducción

La tecnología de Espectro Ensanchado (SS) es una técnica cada vez más popular, que maximiza el uso del ancho de banda del canal permitiendo a múltiples señales utilizar el mismo canal sin colisiones, siendo altamente resistente a la interferencia y el bloqueo. Esta tecnología se puede emplear para elaborar redes inalámbricas, seguras y robustas, cuando se combina con un sistema de encriptación compleja.

Se genera independientemente de la señal un código pseudo-aleatorio, denominado secuencia de pseudo-ruido (PN), que se emplea para modular los datos entrantes. Esta modulación expande la información sobre un ancho de banda mayor de tal forma que se minimizan las interferencias y se dificulta su interceptación.

En el receptor se demodula la señal de espectro ensanchado empleando el mismo código PN generado en el emisor.

En la figura 2.1 se muestra un diagrama de bloques de un sistema SS simplificado.



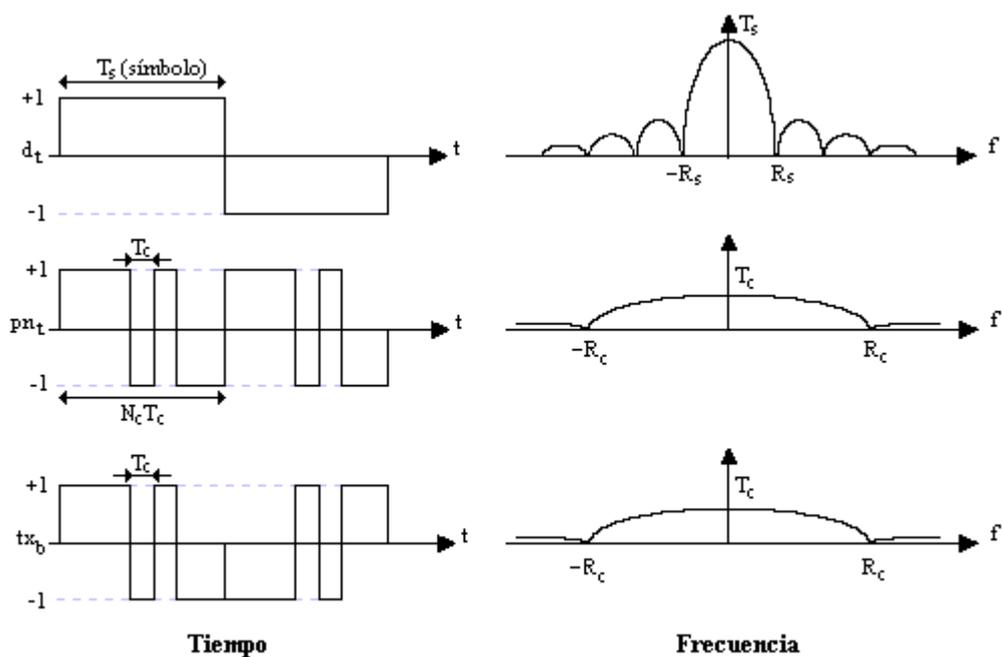
Fuente: www.denayer.be (spread spectrum [ss] introduction.pdf)

Figura 2. 1 Modelo General de un Sistema Digital con Espectro
Ensanchado

2.2. Codificación

En este tipo de codificación, los bits de datos (d_t) se combinan con ruido determinístico (la secuencia p_n_t) para producir un flujo de bits codificados (t_x_b), los cuales parecen ser muy ruidosos porque no presentan una estructura aparente. Esto permite que los bits utilicen completamente el ancho de banda del canal durante la transmisión.

En la figura 2.2. se muestran las diferentes señales en tiempo y en frecuencia; se puede apreciar que tanto la señal transmitida como la secuencia pseudo-aleatoria ocupan todo el ancho de banda, mientras que la señal de datos original se concentra en un menor rango de frecuencia.



Fuente: www.denayer.be (spread spectrum [ss] introduction.pdf)

Figura 2. 2 Comparación entre la señal de datos, la secuencia PN y la señal transmitida

2.3. Clasificación

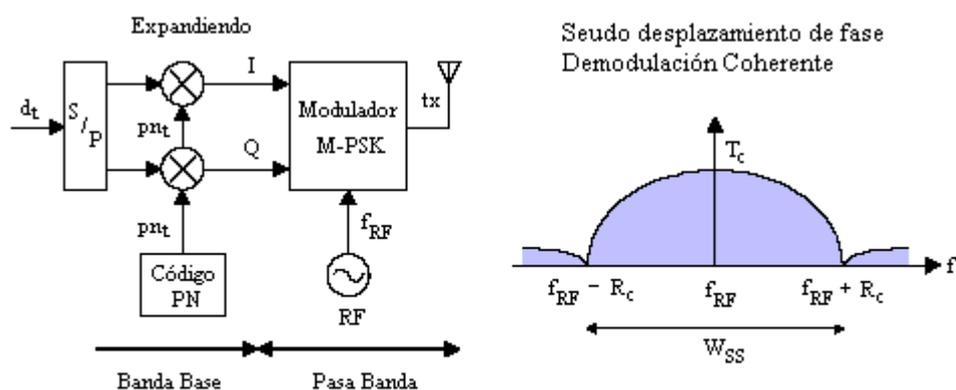
Los sistemas SS nacieron para aplicaciones militares, pero han sido adoptados para aplicaciones civiles en sistema de telefonía inalámbrica. La señal ensanchada puede ser conseguida a través de cinco técnicas:

- Secuencia Directa
- Salto de Frecuencia
- Salto de Tiempo
- Formas Híbridas

- Sistemas FM de pulsos

2.3.1. Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS)

El proceso de espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS) se ejecuta multiplicando efectivamente una portadora RF (datos de información) y una señal digital de pseudo-ruido (PN). Esta secuencia pn_t generada en el modulador, es utilizada en conjunto con una modulación PSK M-aria (BPSK, QPSK) para desplazar la fase de la señal pseudo-aleatoria, a la tasa de chip R_C .



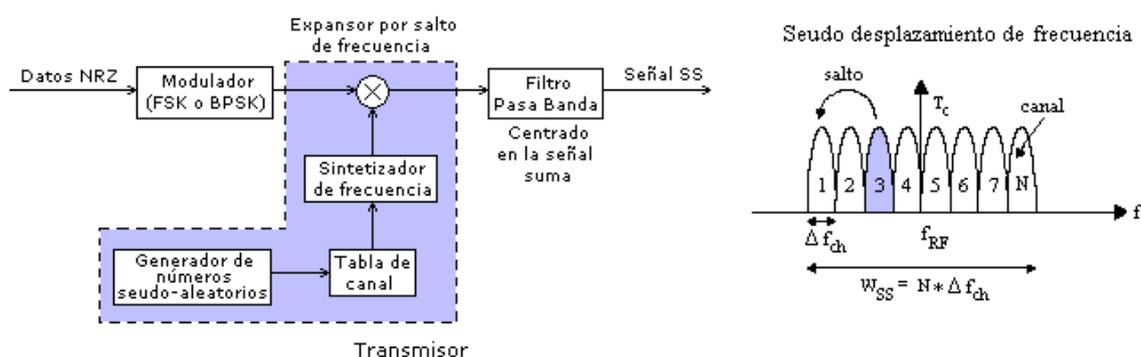
Fuente: www.denayer.be (spread spectrum [ss] introduction.pdf)

Figura 2. 3 Sistema SS mediante Secuencia Directa

Cada bit de la señal se representa mediante varios bits de la señal transmitida; a este procedimiento se le denomina chip code, el cual expande la señal a una banda de frecuencia

En cada salto de frecuencia, el generador PN emplea una secuencia de n bits para seleccionar en el FW (Tabla de Canal) una de las 2^n posiciones de frecuencia (f_{hi}) que alimentara al sintetizador. El transmisor y el receptor siguen el mismo patrón de salto de frecuencia.

En la figura 2.6. se puede observar un transmisor FHSS, junto con un ejemplo de las señales transmitidas.



Fuentes: Data and Computer Communications Pg 129
William Stallings

www.denayer.be (spread spectrum [ss] introduction.pdf)

Figura 2. 5 Sistema SS mediante Salto de Frecuencia

Para un salto dado, el ancho de banda instantáneo es mucho menor que W_{SS} . Por lo tanto, instantáneamente la señal FHSS es de banda angosta, toda la potencia de transmisión se concentra en un solo canal; pero promediando sobre un conjunto de saltos, el espectro ocupa todo el ancho de banda SS.

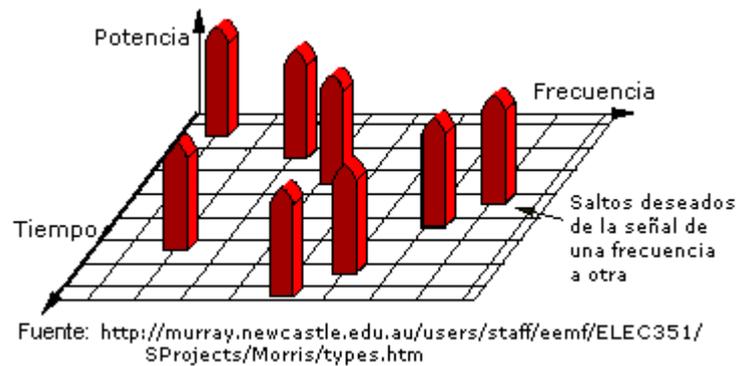


Figura 2. 6 Visualización en 3D de las señales FHSS

Los sistemas de Salto de Frecuencia se dividen en:

- Salto de Frecuencia Lento
- Salto de Frecuencia Rápido

2.3.2.1. Salto de Frecuencia Lento (Slow FH)

Con saltos lentos existen múltiples símbolos de datos por cada salto.

2.3.2.2. Salto de Frecuencia Rápido (Fast FH)

Con saltos rápidos existen múltiples saltos para cada símbolo de dato.

En la figura 2.7 se puede apreciar la diferencia entre los dos tipos de Sistemas de Salto de Frecuencia.

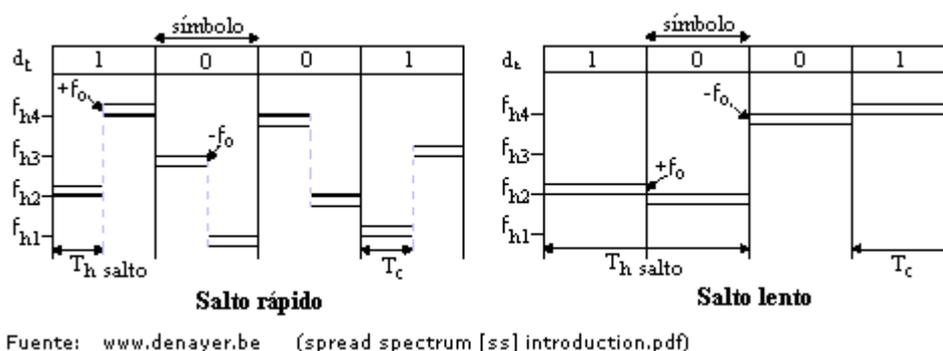
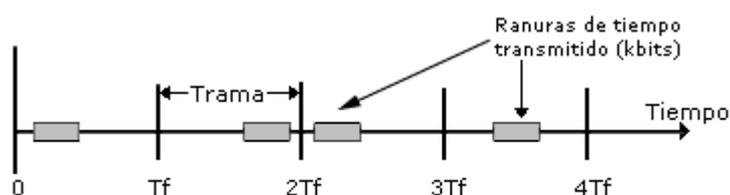


Figura 2. 7 Comparación entre Sistema FHSS de Salto Rápido y Sistema FHSS de Salto Lento

2.3.3. Espectro Ensanchado de Salto de Tiempo (THSS)

El tiempo de la transmisión está dividido en tramas, a su vez cada una de las tramas es dividida en ranuras de tiempo. Durante cada trama, solamente una ranura de tiempo es modulada con un mensaje. Todos los bits de mensaje acumulados en previas tramas son transmitidos. Cada ráfaga consiste en k bits de datos y el tiempo exacto en que cada una se transmite es determinado por una secuencia PN. Ver figura 2.8.



Fuente: <http://lovecraft.die.udec.cl/Redes/disc/trabajos/aw253/qexss-f.htm>

Figura 2. 8 Ejemplo de SS mediante Salto de Tiempo

2.3.4. Sistemas Híbridos

Utilizan una combinación de métodos de Espectro Ensanchado para aprovechar las propiedades beneficiosas de los sistemas utilizados. El sistema más común es la técnica DS/FH SS, que combina la Secuencia Directa y el Salto de Frecuencia. Un bit de datos es dividido sobre los canales de salto de frecuencia (frecuencias portadoras). En cada canal de salto de frecuencia, un código de seudo ruido completo es multiplicado con la señal de datos. Como la secuencia de salto de frecuencia y los códigos seudo ruido son acoplados, una dirección es la combinación del código de seudo ruido y la secuencia de salto de frecuencia. Ver figura 2.9.

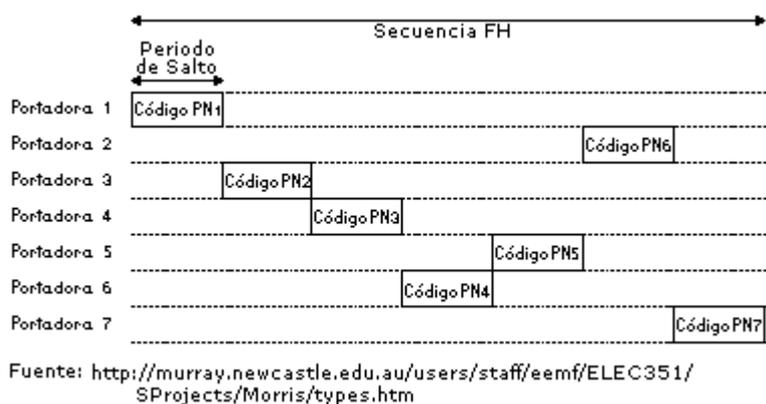


Figura 2. 9 Ejemplo de SS mediante Sistema Híbrido DS/FH

2.3.5. Sistemas FM de Pulsos (Chirp)

Esta forma se caracteriza por una señal pulso RF cuya frecuencia varía en algunas formas conocidas durante el periodo de cada pulso, es decir, es un sistema en el cual una portadora RF es modulada con una secuencia de periodo y ciclo fijos. Esta forma es muy limitada en su uso, por lo cual solo se la menciona. Es principalmente empleada en los radares.

2.4. Modulación y Demodulación

2.4.1. Modulación

Los sistemas SS expanden la señal de información sobre un ancho de banda mayor. Para esta señal SS, el espectro es similar al ruido blanco, mientras que la amplitud y la potencia son las de la señal original de información.

Para conseguir un incremento en el ancho de banda de la señal SS, la densidad espectral de potencia debe ser menor. El factor de expansión del ancho de banda (SF) es usualmente seleccionado como un entero en la práctica:

$$SF = G_P = BW_{SS} / BW_{info} = R_C / R_S = T_b / T_c = N_C$$

2.4.2. Demodulación

La señal recibida (rx_b) es multiplicada por una secuencia pn_r igual a la utilizada en el transmisor y debidamente sincronizada. Esta operación se denomina compresión del espectro, puesto que comprime la señal en el ancho de banda original.

La salida multiplicada en el receptor es entonces:

$$d_r = rx_b * pn_r = (d_t * pn_t) * pn_t$$

La secuencia pn_t alterna entre los niveles -1 y $+1$. Esta alternación se pierde cuando la secuencia es multiplicada por ella misma (perfectamente sincronizada), puesto que:

$$pn_t * pn_t = +1 \quad \text{para todo } t$$

$$\Rightarrow d_r = d_t$$

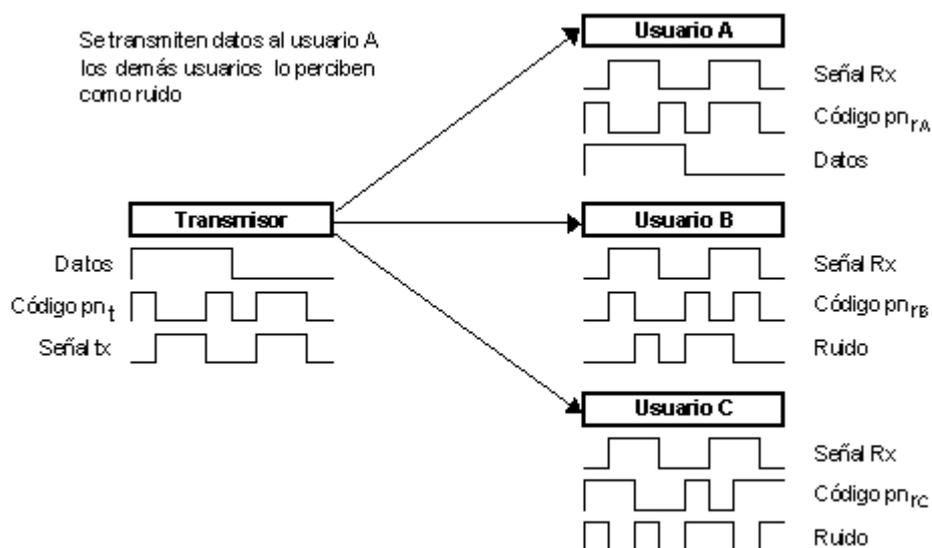
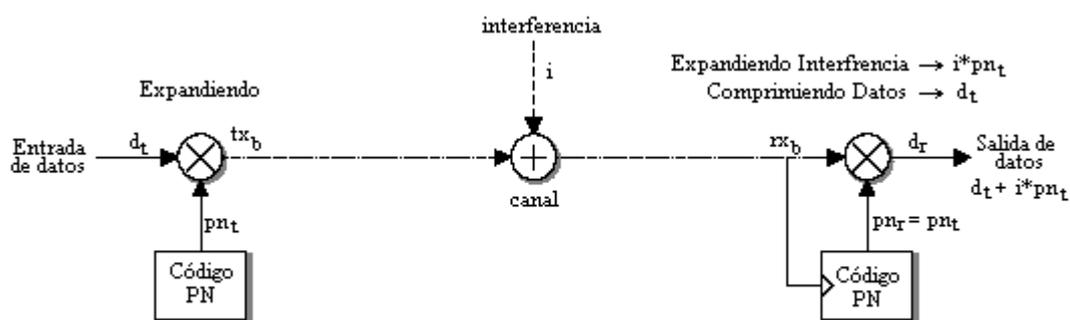


Figura 2. 10 Ejemplo básico de transmisión en ambiente multi-usuario

Si la secuencia PN en el receptor no está sincronizada apropiadamente con la señal recibida, los datos no pueden ser recuperados. Por otra parte, si la señal recibida es multiplicada por una secuencia PN diferente a la utilizada en el modulador, la salida se convierte en ruido. Esto nos permite tener ambientes multi- usuarios, tal como se muestra en la figura 2.10.

2.5. Influencia de la Interferencia

Para simplificar la influencia de la interferencia, el sistema de espectro ensanchado es considerado una comunicación BPSK banda base sin filtrar, como se ilustra en la figura 2.11.



Fuente: www.denayer.be (spread spectrum [ss] introduction.pdf)

Figura 2. 11 Modelo simplificado de un Sistema SS con interferencia

La interferencia, al no estar correlacionada con la secuencia pn_r , incrementa su ancho de banda y decrementa su densidad de

potencia durante la compresión, de tal forma que este componente se considera de banda ancha (R_C). Como los datos son de banda angosta (R_S), al pasar la señal d_r por un filtro pasa bajo cuyo ancho de banda se ajuste a la recuperación de la señal de datos, la mayor parte de la interferencia es filtrada. Por ende, el efecto de la interferencia es reducido por la ganancia de procesamiento (G_P).

$$G_P = BW_{SS} / BW_{INFO}$$

Existen dos tipos de interferencia:

- Banda Angosta y
- Banda Ancha

2.5.1. Interferencia de Banda Angosta

Debido al proceso de compresión, la densidad de potencia del ruido se reduce con respecto a la señal de datos comprimida; solo $1/G_P$ de su potencia original queda en la banda base de información (R_S). Esto permite que la ganancia del proceso (G_P) actúe contra las señales de interferencia de banda angosta que suelen inutilizar receptores de banda angosta convencionales.

Ver figura 2.12.

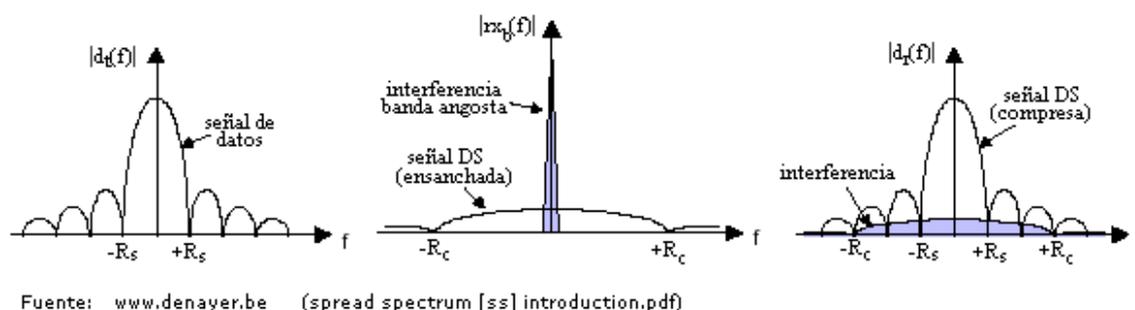


Figura 2. 12 Influencia de la Interferencia de Banda Angosta

2.5.2. Interferencia de Banda Ancha

Como la interferencia no está correlacionada con la secuencia p_{n_r} , es ensanchada con lo cual su influencia disminuye, pero no desaparece. En el Anexo A se tiene la debida Demostración Matemática.

Ver la figura 2.13.

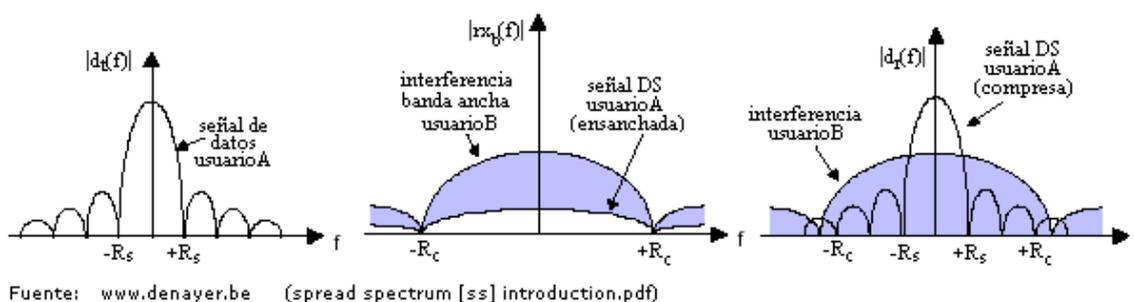


Figura 2. 13 Influencia de la Interferencia de Banda Ancha

El origen del ruido de banda ancha puede ser:

- Múltiples usuarios, como se ilustra en la figura 2.14
- Ruido Gaussiano, como se observa en la figura 2.15

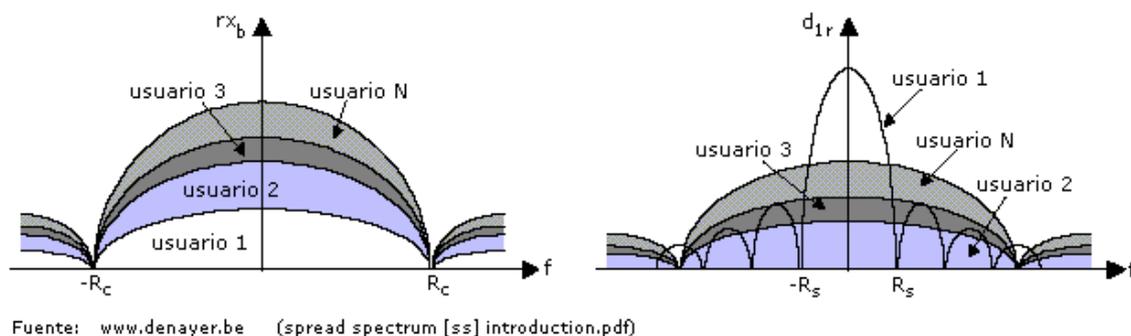


Figura 2. 14 Interferencia proveniente de múltiples usuarios

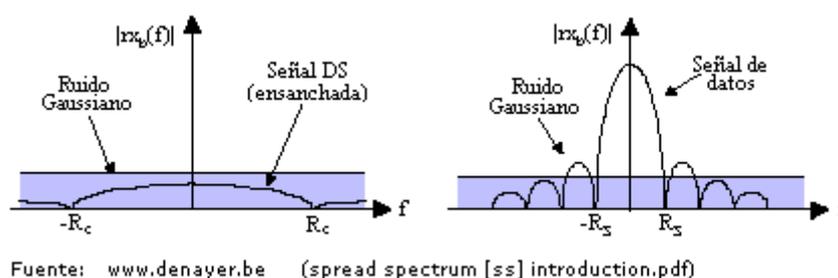


Figura 2. 15 Interferencia por Ruido Gaussiano

2.6. Secuencia de Pseudo-Ruido (PN)

Una secuencia PN pseudo-aleatorio actúa como una portadora determinística de ruido utilizada para ensanchar la potencia de una señal. Este tipo de secuencias, compuestas por 1s y 0s, lucen como ondas binarias aleatorias pero realmente son periódicas. Estas señales son difíciles de detectar y de predecir.

En cada periodo de secuencia el número de 1s difiere del número de 0s en máximo un dígito (para N_C impar). Este balance determina la

componente DC de la secuencia PN. Cuando se modula una portadora con la secuencia PN, este balance puede limitar el grado de supresión de portadora alcanzable, puesto que ésta es dependiente de la simetría de la señal modulante.

La auto correlación del código PN tiene propiedades similares a las del ruido blanco (WGN), el cual se caracteriza por tener la misma densidad de potencia $G_{WGN}(f)$ para todas las frecuencias. Su función de auto-correlación $R_{WGN}(\tau)$ es cero para $\tau \neq 0$, es decir, dos muestras diferentes son no correlacionadas.

Los códigos son llamados ortogonales; esto permite que no exista interferencia entre los usuarios después de la compresión y la privacidad de la comunicación es protegida. En la práctica, los códigos no son perfectamente ortogonales; la correlación cruzada entre códigos de usuario introduce degradación al desempeño, lo que limita el máximo número de usuarios simultáneos.

La selección de un buen código es importante, porque la longitud y el tipo del código fijan los límites de la capacidad del sistema.

2.6.1. Longitud

De acuerdo a su longitud los códigos se clasifican en:

- Código corto y
- Código largo

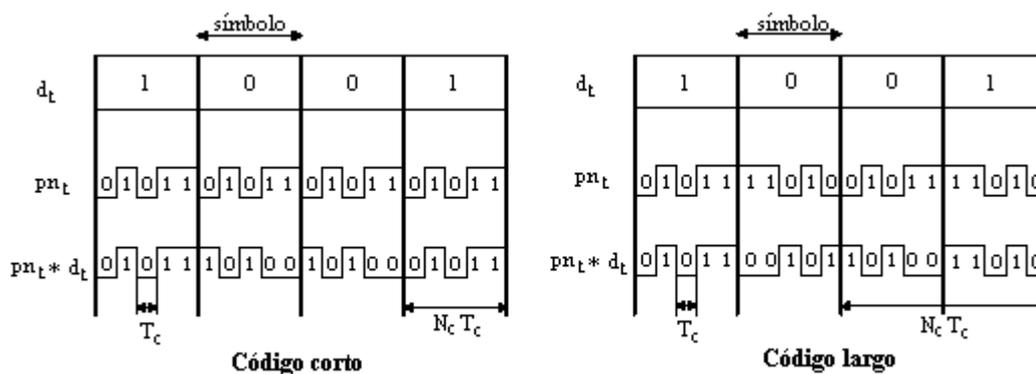
2.6.1.1. Código Corto

En este caso se emplea la misma secuencia PN para cada símbolo de dato ($N_C * T_C = T_S$). Ver figura 2.16

2.6.1.2. Código Largo

El periodo de la secuencia PN es mucho más largo que el símbolo de dato, entonces un diferente pedazo de patrón es asociado con cada símbolo ($N_C * T_C \gg T_S$).

Ver figura 2.16



Fuente: www.denayer.be (spread spectrum [ss] introduction.pdf)

Figura 2. 16 Comparación entre Sistema DSSS de Código Corto y Sistema DSSS de Código Largo

2.6.2. Tipos

Existen muchos diferentes tipos de códigos entre los cuales podemos mencionar:

- Secuencia-m
- Códigos Barker
- Códigos Gold
- Códigos Hadamard-Walsh

2.6.2.1. Secuencia-m

Para producir las secuencias-m se emplea un generador simple de registros de desplazamiento (SSRG) con L flip-flops, es decir con L estados.

Para toda secuencia-m el número de unos supera al número de ceros en uno para un periodo completo de la secuencia. Es decir, existen 2^{L-1} unos y $2^{L-1}-1$ ceros, excepto en el estado 'todos ceros'. Este tipo de secuencias cumplen plenamente con la distribución de la longitud de las corridas. La función de auto correlación de la secuencia-m es -1 para todos los valores de la porción de desplazamiento de fase τ , excepto para $[-1, +1]$ donde la correlación varía linealmente de -1 a $2^{L-1} =$

N_c (longitud de la secuencia). Otros códigos no pueden mejorar este desempeño de la secuencia-m.

La correlación cruzada no se comporta tan bien como la auto-correlación. En los ambientes multi-usuarios la secuencia del código debe ser escogida cuidadosamente para evitar interferencia entre los usuarios.

Los códigos secuencia-m son lineales y por ende, no son útiles para asegurar un sistema de transmisión. Son fácilmente descifrables cuando una pequeña porción secuencial del conjunto $(2L+1)$ es conocida. El sistema requiere que la información sea codificada por una técnica criptográficamente segura.

2.6.2.2. Código Barker

Estos códigos poseen diferentes longitudes y propiedades de auto correlación similares a las de las secuencias-m.

2.6.2.3. Códigos Gold

Las secuencias de código Gold se generan a través de la función ex-or de dos secuencias-m con la misma longitud (códigos base). Las secuencias del código son añadidas

parte por parte con un reloj sincronizado. Los códigos generados son de la misma longitud que los códigos base, pero su función auto-correlación no es tan eficiente como en la secuencia-m. Un generador de código Gold de dos registros y longitud L puede generar 2^L-1 secuencias (longitud 2^L-1) más los códigos base, dando un total de 2^L+1 secuencias. La auto-correlación y correlación cruzada entre códigos útiles es uniforme y limitada.

Cuando se emplean secuencias-m preferidas, los códigos Gold generados tienen una correlación cruzada de tres valores posibles. Este importante subconjunto de códigos Gold se los conoce como Pares Preferidos de Códigos Gold. Las propiedades de predicción de la correlación cruzada son necesarias en un ambiente donde un código debe ser escogido entre varios códigos que existen en el espectro.

2.6.2.4. Códigos Hadamard-Walsh

Los códigos Hadamard-Walsh son generados en un conjunto de $N=2^n$ códigos con una longitud de $N=2^n$.

El algoritmo de generación es simple:

$$H_N = \begin{bmatrix} H_{N/2} & H_{N/2} \\ H_{N/2} & -H_{N/2} \end{bmatrix} \quad \text{con } H_1 = [1]$$

A continuación algunos ejemplos:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

La distancia Hamming (número de elementos diferentes) entre cualquier par de filas es exactamente $N/2$. Los códigos Hadamard-Walsh pueden emplearse como un código de bloque en un codificador de canal.

Las filas (o columnas) de la matriz H_N son los códigos Hadamard-Walsh. Todas las filas son mutuamente ortogonales.

La correlación cruzada entre dos códigos Hadamard-Walsh cualesquiera de la misma matriz es cero, cuando están sincronizados perfectamente, lo cual asegura que no habrá interferencia entre señales transmitidas por la misma estación.

Los códigos son periódicos, lo cual resulta en menor eficiencia de expansión y problemas con la sincronización basada en auto-correlación.

2.7. Sincronización de la secuencia

Para poder operar correctamente, un sistema de comunicación que emplea Espectro Ensanchado requiere que la secuencia PN generada en el receptor esté sincronizada con la secuencia PN del transmisor, tanto en posición como en velocidad.

El proceso de sincronizar la secuencia PN consta de dos pasos:

- *Adquisición*, consiste en llevar las dos señales para el alineamiento.
- *Rastreo*, toma y mantiene continuamente la mejor onda finamente alineada a través de un lazo de realimentación, para obtener la mayor potencia de correlación y la mayor ganancia de procesamiento.

2.7.1. Incertidumbre de la fuente de sincronización

Básicamente existen dos formas de incertidumbre en las fuente de sincronización:

- de tiempo y
- de frecuencia.

2.7.1.1. Incertidumbre de tiempo

Incertidumbre en la distancia entre transmisor y receptor (retardo de propagación), deslizamientos relativos de reloj y diferentes fases entre transmisor y receptor.

2.7.1.2. Incertidumbre de frecuencia

La velocidad relativa V_r entre transmisor y receptor (desplazamiento de frecuencia Doppler) afecta la frecuencia portadora:

$$f_{\text{portadora Doppler}} = f_{\text{portadora}} (1 \pm V_r / c)$$

2.8. Frecuencias de Operación

Las bandas de frecuencia ICM (industrial, científico y médica) están reservadas para aplicaciones de espectro ensanchado, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II Bandas de Frecuencia ICM

Banda ICM	Ancho de Banda
902 – 928 MHz	26 MHz
2.4 – 2.4835 GHz	83.5 MHz
5.725 – 5.850 GHz	125 MHz

2.9. Aplicaciones

Inicialmente la tecnología de Espectro Ensanchado era empleada para aplicaciones militares. En la actualidad ha entrado en el

mercado de consumo en forma de enlaces ethernet por radio, teléfonos inalámbricos, servicio de posicionamiento global (GPS), sistemas de comunicación personal (PCS), y telefonía celular digital (CDMA).

2.9.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Este es un sistema de navegación satelital, fundado y controlado por el departamento de defensa de los Estados Unidos (DOD).

El sistema de posicionamiento global consiste de tres bloques, ver figura 2.17:

- *El segmento Espacial:* la constelación operacional nominal consiste de 24 satélites GPS que orbitan la tierra en 12 horas.
- *El segmento de Usuario:* el receptor GPS convierte las señales en posición (X, Y, Z), velocidad y tiempo estimados.
- *El segmento de Control:* las estaciones de monitoreo miden señales de cada satélite para incorporarlas a sus modelos orbitales. La estación Control Maestro actualiza los datos y el reloj de las señales para que los satélites las envíen a los receptores.

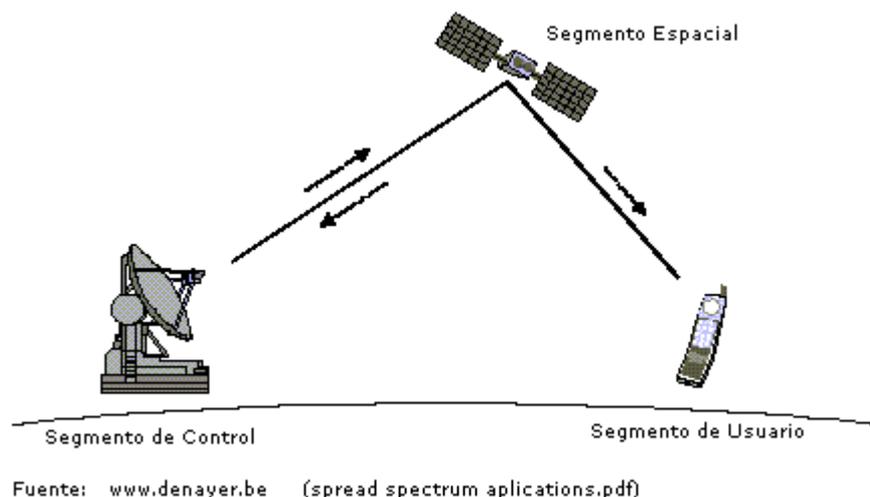


Figura 2. 17 Componentes del Sistema de Posicionamiento Global

2.9.2. Comunicación Inalámbrica

Las comunicaciones inalámbricas se caracterizan por emplear el aire como medio de transmisión, lo cual dota de flexibilidad a la instalación. Pero este ambiente es muy sensible a las interferencias por lo cual se establecen métodos de acceso, transmisión y corrección de errores para obtener un enlace fiable con baja tasa de error. Como sabemos, la tecnología de Espectro Ensanchado provee protección contra interferencias o perturbaciones, disminuyendo las de banda ancha y casi anulando las de banda angosta; adicionalmente provee privacidad y seguridad, por lo cual es empleada para este tipo de transmisiones.

El estándar internacional IEEE 802.11 se emplea para las Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN), introduciendo la tecnología de computadores móviles que se puede implementar con Espectro Ensanchado. Cabe anotar que esta tecnología también se emplea para proveer Última Milla Inalámbrica (WLL).

2.9.3. Sistemas de Comunicación Personal (PCS)

Servicio móvil de telefonía pública que consiste en la transmisión de señales de radio de baja potencia generadas y recibidas por los equipos terminales para que puedan originar o recibir transmisiones, utilizando un sistema basado en una red de radio bases conectadas a una central de control y conmutación. Obviamente la Tecnología Espectro Ensanchado es ideal para este tipo de sistemas de comunicación debido a que se caracteriza por su bajo nivel de potencia y por poder coexistir con otros sistemas en la misma banda.

2.9.4. Telefonía Celular Digital

Para los sistemas celulares es muy importante el concepto de Acceso Múltiple, es decir, un gran número de usuarios compartiendo una banda de canales de radiofrecuencia, donde

la asignación de dichos canales no es estática. Existen varios métodos de acceso múltiple entre los cuales podemos mencionar al Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) que emplea el sistema de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa para funcionar. CDMA utiliza códigos digitales únicos (las secuencias de pseudo-ruido aleatorios) en lugar de canales de frecuencia para diferenciar a los suscriptores, los cuales comparten el mismo rango de espectro de radio, tal como se puede apreciar en la figura 2.18. Como las señales resultantes son mucho más amplias, reducen la interferencia y permiten la reutilización de frecuencia de celda. Adicionalmente no existe una división en el tiempo.

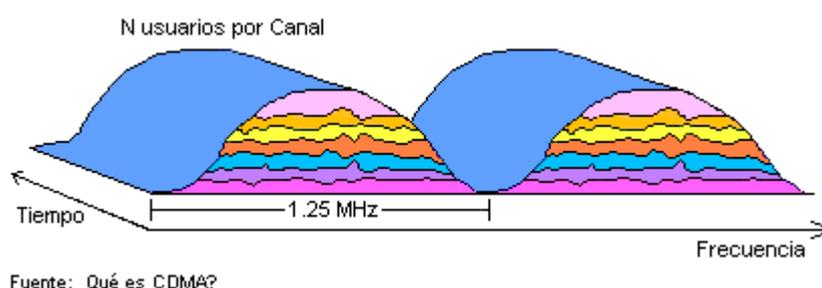


Figura 2. 18 Sistema CDMA de Secuencia Directa

Para la Telefonía celular, CDMA es una técnica de acceso múltiple digital especificada por la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (TIA) como "IS-95". Por lo tanto, CDMA IS-95 es un sistema de radio celular digital para comunicación

de voz móvil como los servicios de fax móvil y transmisión de datos. El estándar TIA/EIA IS-95 está relacionado con los estándares IS-97 (versiones de estaciones base) e IS-98 (desempeño móvil). El sistema IS-95 opera en la misma banda de frecuencia que los sistemas celulares analógicos AMPS con una velocidad de datos de una llamada de 9600 bps.

Debido a que CDMA emplea la tecnología de Espectro Ensanchado, posee una privacidad incrementada inherente de tal forma que un simple receptor de radio no podrá interceptar las conversaciones digitales individuales. Por otra parte, requieren de señales de sincronización muy precisas que son proporcionados por el Sistema de Posicionamiento Global.

Para proporcionar capacidades multimedia a estos sistemas se creó un sistema de tercera generación conocido como Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (W-CDMA), un canal CDMA cuatro veces más ancho que los que se empleaban típicamente en Redes de segunda Generación el cual soporta una variedad de servicios de datos.

Los objetivos de capacidad de transporte fueron:

- 384kbps para cobertura de área total (→ acceso a Internet)

- 2Mbps para cobertura local (→ transferencia video / imagen)

2.10. Ventajas y Desventajas

2.10.1. Ventajas

- Otros sistemas ven a esta señal como ruido, puesto que su densidad de potencia es considerablemente baja y similar a este.
- No interfiere en gran medida con sistemas convencionales ni con otros sistemas SS, por lo cual puede coexistir con estos en la misma banda de frecuencia.
- Comunicación Segura (privacidad).
- Acceso múltiple por división de código CDMA (multi-usuario).
- Rechazo de múltiples trayectorias, solo mantiene el camino directo.
- Protección contra interferencia intencional o perturbaciones.

2.10.2.Desventajas

- No mejora significativamente su desempeño cuando se encuentra con ruido Gaussiano
- Incrementa el ancho de banda (frecuencia utilizada, receptor banda ancha).
- Incrementa complejidad y carga computacional.
- Limitaciones con respecto al número de usuarios.

CAPÍTULO 3

3. Marco Regulatorio de los Sistemas Espectro Ensanchado

3.1. Regulación en la Implementación y Operación de Sistemas Espectro Ensanchado en Ecuador

En la Norma para la Implementación y Operación de los Sistemas de Espectro Ensanchado promulgada en la Ley Reformatoria a la Ley Especial de Telecomunicaciones, de acuerdo a la resolución 538-20-CONATEL-2000, se destaca la importancia de una buena administración del espectro radioeléctrico. Se indica que la tecnología Espectro Ensanchado utiliza baja densidad de potencia, minimizando el riesgo de interferencias desde o hacia sistemas convencionales o de la misma tecnología; de tal forma que se puede compartir la misma banda de frecuencias con sistemas de banda angosta, aumentando la eficiencia en la utilización del espectro.

3.1.1. Organismos Reguladores

En Ecuador existen tres organismos encargados de la regulación, administración y control de las Telecomunica-

ciones, cada uno tiene funciones específicas pero están orientados a trabajar conjuntamente:

1. *Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL)*.- se encarga de las políticas de estado: normas de homologación, pliegos tarifarios, regulación y control de equipos y servicios.
2. *Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SNT)*.- ejecuta las normas que dicta el CONATEL, asigna las de bandas de frecuencias, administra el espectro radioeléctrico, otorga permisos de operación y concesiones.
3. *Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTEL)*.- vigila que los sistemas cumplan con las disposiciones y resoluciones del CONATEL.

3.1.2. Disposiciones Generales

3.1.2.1. Asignación de Frecuencias

Se han asignado las siguientes bandas de frecuencia para la operación de los sistemas de Espectro Ensanchado:

- 902 - 928 MHz.
- 2.400 - 2.4835 GHz.
- 5.725 - 5.850 GHz.

Los sistemas de Espectro Ensanchado cuya operación se apruebe en estas bandas, se consignan a título secundario con respecto a los sistemas ICM, por lo tanto deben aceptar cualquier interferencia proveniente de ellos y en caso de producirla deben solucionar el problema.

El CONATEL aprobará la operación en otras bandas cuando la producción de equipos sea estandarizada por parte de los fabricantes y sus características técnicas sean aprobadas.

3.1.2.2. Sistemas Autorizados

La SNT aprobará las siguientes configuraciones para sistemas de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa, Salto de Frecuencia e Híbridos:

- Sistemas fijos punto a punto
- Sistemas fijos punto-multipunto
- Sistemas móviles
- Sistemas de Explotación
- Configuraciones que el CONATEL defina.

3.1.3. Especificaciones de Operación

De acuerdo al artículo 13 de la Norma para la Implementación y Operación de los Sistemas de Espectro Ensanchado se deben cumplir con las siguientes características de operación:

3.1.3.1. Potencia Máxima de Salida

Es la potencia máxima en vatios que entrega el transmisor en el conector de la antena en cualquier condición de modulación.

La norma especifica que:

- a) Para sistemas de secuencia directa y salto de frecuencia que operan en las bandas de 2.4GHz y 5.8GHz la potencia máxima es 1W.
- b) Sistemas punto a punto y punto multipunto que operen en la banda de 5.8GHz pueden utilizar antenas con mas de 6dBi.
- c) Los demás sistemas que utilicen antenas direccionales, deben reducir la potencia máxima de transmisor de 1W, en 1dB por cada 3dB de ganancia de la antena que excedan a los 6dBi.

d) Sistemas de salto de frecuencias en la banda de 900MHz deben tener una potencia máxima de:

- 1W, si utilizan 50 saltos o más
- 0.25W, si utilizan entre 25 y 50 saltos

Tabla II: Potencia Máxima para Sistemas en la Banda de 2.4 GHZ

Ganancia de la Antena (dBi)	Pasos de 3dB en exceso, respecto de 6dBi	Potencia Máxima (Vatios)
>6 y ≤ 9	1	0.794328
>9 y ≤ 12	2	0.630957
>12 y ≤ 15	3	0.501187
>15 y ≤ 18	4	0.398107
>18 y ≤ 21	5	0.316227
>21 y ≤ 24	6	0.251188
>24 y ≤ 27	7	0.199526
>27 y ≤ 30	8	0.158489

3.1.3.2. Intensidad de Campo Eléctrico

La intensidad de campo para la frecuencia fundamental será como máximo 50mV/m y para las armónicas 500μV/m; medidos a tres metros de distancia de las antenas promediando los valores de una muestra.

La emisión de radiación fuera de la banda, exceptuando las armónicas, debe atenuarse mínimo 50dB bajo el nivel de la frecuencia asignada.

3.1.3.3. Ancho de banda de emisión y condiciones de uso de los canales

Los sistemas de Secuencia Directa tendrán un ancho de banda a 6dB de 500KHz como mínimo; y durante una transmisión continua la densidad espectral de potencia pico de salida a la antena no debe ser mayor a 8dBm en un ancho de banda de 3KHz.

Los sistemas de Salto de Frecuencia tendrán sus canales separados como mínimo 25kHz o el ancho de banda a 20dB del canal de salto (máximo permitido de 500kHz), el que sea mayor. Existen restricciones en el número de canales de salto de frecuencia para cada banda ICM, dependiendo del ancho de banda a 20dB requerido.

Tabla IV: Número de Canales de Salto

Banda	Ancho de Banda a 20dB	Número de canales de salto	Tiempo de ocupación	Periodo
900MHz	<250KHz	≥50	>0.4s	20s
900MHz	≥250KHz	25	<0.4s	10s
2.4GHz	1MHz	≥75	<0.4s	30s

Banda	Ancho de Banda a 20dB	Número de canales de salto	Tiempo de ocupación	Periodo
5.8GHz	1MHz	≥75	<0.4s	30s

3.1.3.4. Ganancia de Procesamiento

Se denomina así a la relación entre el ancho de banda RF ensanchado y el ancho de banda de la información.

$$G_p = 10 \log (W_{RF}/R_b)$$

Tabla V: Ganancia de Procesamiento

Sistema	Ganancia mínima de Procesamiento
Secuencia Directa	10dB
Salto de Frecuencia	75dB
Híbrido	17dB

3.1.4. Homologación de Equipos

Para fines de homologación los equipos se clasifican en:

- Equipos de reducido alcance
- Equipos de gran alcance

3.1.4.1. Equipos de Reducido Alcance

En estos equipos la antena debe encontrarse adherida a la caja del mismo y su ganancia máxima será de 1dBi. Su homologación se efectuará sobre la

base de las características estipuladas en su catálogo técnico.

Aquellos equipos cuya potencia de salida del transmisor sea menor a 100mW, no requieren aprobación expresa.

3.1.4.2. Equipos de Gran Alcance

Están considerados dentro de este grupo los equipos que utilicen una potencia de salida superior a 100mW y los que no tengan su antena adherida a la caja o cuya ganancia sea mayor a 1dBi. Su homologación se hace sobre la base del certificado que reciben los fabricantes de la FCC o de las organizaciones de los países de la comunidad Europea, Canadá, Japón y otras que se consideren en el futuro.

De acuerdo al Artículo 14 de la Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Espectro Ensanchado, los equipos Espectro Ensanchado que se utilicen o comercialicen en el país deberán ser homologados por la SNT. Para ello se debe presentar una "Solicitud para

Homologación de Equipos que utilizan Tecnología de Espectro Ensanchado”, el cual se puede apreciar en el anexo B, junto con la siguiente información:

- Manuales Técnicos.
- Certificado de Características Técnicas; (solo para equipos de gran alcance).
- Constitución de la Compañía.
- RUC / CI
- Nombramiento del representante legal.
- Fotocopia de la cédula de identidad, (del representante legal para el caso de ser compañía).

Para obtener las etiquetas de homologación de los equipos terminales, se debe acatar la Resolución N° ST-2002-0275 del 11 de septiembre del 2002: “Reformas al Instructivo de los Procesos Administrativos, Técnicos y Financieros para la Homologación de Equipos Terminales de Telecomunicaciones”, en la cual se estipula que los equipos terminales sujetos a homologación son aquellos destinados a ser utilizados por los usuarios que se conecten al punto de conexión terminal de una red pública de telecomunicaciones con el propósito de tener acceso a uno o más servicios de

telecomunicaciones. La información requerida para la homologación de estos equipos ingresará en la base de datos del Sistema de Homologación de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

3.1.4.3. Equipos Terminales Individuales

Se realizará únicamente para aquellos equipos que hayan sido adquiridos fuera del país y debe efectuarla el propietario del equipo terminal, en caso contrario se deberá anexar la autorización correspondiente a los siguientes requerimientos:

- Formulario de solicitud con toda la información requerida, firmado por el propietario del equipo, el cual se puede apreciar en el anexo B.
- Original y copia de la cédula de Ciudadanía del propietario del equipo.
- Original de la factura de compra del equipo terminal.

El peticionario deberá cancelar los siguientes valores a la Superintendencia de Telecomunicaciones:

Derechos de Homologación:	\$13.14
Etiqueta:	\$0.79

3.1.4.4. Equipos Terminales Importados

Para la homologación de equipos terminales importados se necesitan los siguientes requerimientos:

- Formulario de solicitud con la información requerida en el mismo, que se puede apreciar en el anexo B.
- Manuales técnicos que aporten la información necesaria para la realización de pruebas.
- Características de funcionamiento y modo de conexión a la red.
- Un certificado de características técnicas emitido por un laboratorio reconocido por la Superintendencia de Telecomunicaciones de que los equipos que se quiere importar cumplen con las especificaciones de la Norma técnica correspondiente o un certificado de un organismo internacional de homologación reconocido.

- Un documento con el compromiso de la empresa responsable de la importación, respecto de la garantía técnica del mantenimiento de los equipos importados.
- Documentos de importación y nacionalización pertinentes (copias certificadas) DUI.
- Información del modelo y número de serie de los equipos a homologar, de preferencia en medio magnético.

El peticionario deberá cancelar los siguientes valores a la Superintendencia de Telecomunicaciones:

Derechos de Homologación:	\$13.14
Registro y verificación en laboratorio de los parámetros del equipo terminal:	\$40.00
Etiqueta:	\$0.79
Por cada etiqueta adicional:	\$0.79

En caso de requerirse pruebas técnicas adicionales, el solicitante pagará los costos de laboratorio que correspondan.

3.1.5. Instalación y Operación

De acuerdo a la Norma para la Implementación y Operación de Sistemas Espectro Ensanchado, todos los sistemas que utilizan la tecnología de espectro ensanchado deben solicitar a la SNT, en cualquier parte del país, la aprobación de operación. El CONATEL designa al Secretario Nacional de Telecomunicaciones para aprobar dicha solicitud en un lapso de tres meses a partir de la entrega de la misma. Su aprobación le otorga un permiso de cinco años que puede renovarse por el mismo tiempo, si el interesado lo solicita 30 días antes del vencimiento.

Los requisitos para el registro sistemas de espectro ensanchado son:

- Solicitud dirigida al Secretario Nacional de Telecomunicaciones, la cual se puede apreciar en el anexo B.
- Permiso de Operación de Red Privada.
- Estudio técnico de ingeniería presentado en formulario disponible en la SNT, suscrito por un Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones colegiado en el país.

- Número del certificado de homologación del equipo a utilizar.
- Copia de la información técnica de los equipos.
- Recibo de pago de la contribución del 1/1000 del valor del contrato que exceda de USD 12 conforme lo determina el artículo 26 de la Ley de Ejercicio Profesional de Ingeniería.

La Norma para la Implementación y Operación de Sistemas Espectro Ensanchado en su Artículo 15 (reforma de febrero del 2004), estipula que quienes obtengan de la SNT la aprobación para la operación de sistemas de espectro ensanchado, excepto aquellos sistemas que no requieren de aprobación expresa, deberán cancelar anualmente por anticipado, por concepto de uso del espectro radioeléctrico, el valor en dólares de los Estados Unidos de América, que resulte de la aplicación de la fórmula:

$$TA \text{ (imposición anual)} = K_a \times \alpha_6 \times \beta_6 \times B \times NTE$$

Donde:

K_a = Factor de ajuste por inflación = 1

α_6 = Coeficiente de valoración del espectro para los Sistemas de Espectro = 6.40

β_6 = Coeficiente de corrección para los Sistemas de Espectro

Ensanchado = 1

B = Constante de servicio para los Sistemas de Espectro

Ensanchado

NTE= Número de estaciones fijas, bases y móviles y estaciones receptoras de triangulación, de acuerdo al sistema.

Tabla VI: Valores de B para los diferentes sistemas

Configuración del Sistema	Valor de B
Punto a punto y punto–multipunto.	12
Sistemas móviles.	0,7 x NA
Sistemas de radiolocalización de vehículos.	39

Tabla VII: Valores de NTE para los diferentes sistemas

Configuración del Sistema	Valor de NTE
Sistema Punto-Punto	Dos por cada enlace
Sistema Punto-Multipunto	Suma de estación central más estaciones remotas
Sistemas Móviles	Mínimo 50 (estaciones bases y móviles)
Sistemas de radiolocalización de vehículos	Mínimo tres

La Norma Técnica establece sistemas móviles y sistemas de explotación (radiolocalización); pero no han habido aplicación para tales sistemas.

De acuerdo al Artículo 17 de la Norma para la Implementación y operación de Sistemas Espectro Ensanchado, la SUPTEL realizará el control de los sistemas que utilicen esta tecnología y vigilará porque ellos cumplan con lo dispuesto en la Norma antes mencionada y las disposiciones Reglamentarias pertinentes.

3.2. Regulación en la Implementación y Operación de Sistemas Espectro Ensanchado en el Exterior

En el ámbito mundial, la regulación en la implementación y operación de sistemas de comunicación corresponde a la administración nacional de cada país, pero está sujeta a lo determinado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a través de cualquiera de sus secciones.

En lo referente a los sistemas Espectro Ensanchado, la UIT determina que se pueden implementar y operar en las siguientes bandas ICM que son de uso libre:

- 902 - 928 MHz (frecuencia central 915MHz)
- 2400 - 2500 MHz (frecuencia central 2450MHz)
- 5725 - 5875 MHz (frecuencia central 5800MHz)

Pero especifica en el artículo 5.150 de la ITU-R que los Servicios de Radiocomunicación que operan dentro de las bandas para aplicaciones ICM deben aceptar la interferencia perjudicial que es causada por estas aplicaciones, decir, se conceden los permisos de operación a título secundario. Adicionalmente, el artículo 15.13 define que las administraciones locales tomarán todos pasos factibles y necesarios para asegurar que la radiación de los equipos usados para aplicaciones ICM sea mínima y que fuera de las bandas designadas no cause interferencia a los servicios de radiocomunicación, en particular, a cualquier servicio seguro que opere de acuerdo con las regulaciones.

Para la región 2, a la cual pertenece Ecuador se define la banda de 2.4GHz, en la cual se centra nuestro estudio, para servicios de radiolocalización y Comunicación fijo y móvil.

3.2.1. Organismo Regulador

Cada país cuenta con uno o varios organismos reguladores de las telecomunicaciones, que se encargan de emitir leyes que normalizan la operación de los sistemas de comunicaciones, con el fin de administrar y equilibrar la distribución del espectro. De igual manera emiten normas

que determinan hasta donde esta permitido usar determinadas tecnologías, como es el caso de Espectro Ensanchado.

En España, la Secretaría General de Telecomunicaciones, en dependencia del Ministerio de Fomento, publica en el BOE el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, al que debe someterse todo operador que utilice el espectro de radio en España. En lo que se refiere a los derechos de la competencia y la defensa de los consumidores, al pertenecer a la Unión Europea, debe acatar una serie de principios, directivas y recomendaciones que la Comisión de las Comunidades Europeas determina.

En Australia, las frecuencias que pueden ser utilizadas se rigen por las licencias de clase, que se basan en los estándares de los equipos o en los parámetros técnicos u operacionales. Estas licencias no son negociables y el organismo encargado de tramitarlas es la Autoridad de las Comunicaciones de Australia (ACA).

En los Estados Unidos de América (EE.UU.), el organismo encargado de regular las telecomunicaciones, normar y autorizar la implementación y operación de los sistemas de comunicación es la Comisión Federal de Comunicaciones

(FCC); mientras que en el caso de Paraguay es la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

En Colombia la instalación y operación de los sistemas de comunicación, incluyendo los de espectro ensanchado, están sujetas a la autorización del Ministerio de Comunicaciones.

En el caso de Chile, el organismo regulador es la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SubTel), la cual recibió el premio al mejor Regulador de Latinoamérica en el 2003, debido a su compromiso con el desarrollo tecnológico y la transparencia regulatoria con la que operan.

3.2.2. Disposiciones Generales

3.2.2.1. Australia

De acuerdo a la ACA, en Australia se autorizan los sistemas espectro ensanchado para las bandas ICM en sus modalidades: Secuencia Directa, Salto de Frecuencia y Sistemas Híbridos. Estos sistemas no deberán causar interferencias a otros servicios de radiocomunicaciones, ni podrán pedir protección contra las interferencias de otros sistemas.

En este aspecto el ACA estipula lo mismo que regulación ecuatoriana, pero se nota una diferencia

en las aplicaciones y servicios autorizados; y los niveles de potencia permitidos.

De acuerdo al ACA, los equipos de espectro ensanchado se pueden aplicar en: lectura de código de barras, puntos de ventas de redes, redes LAN, e intercambio privado automático entre sucursales (PARXs). Su potencia máxima permitida depende de la banda en que operen.

Tabla VIII: Potencia de equipos para Bandas ICM

Banda	PIRE máximo
915-958 MHz	1W
2.4-2.463 GHz	4W
2.463-2.4835 GHz	200mW
5.725-5.85 GHz	1W

3.2.2.2. Colombia

El Ministerio de Comunicaciones determina que dentro del territorio colombiano únicamente se autoriza la operación de sistemas espectro ensanchado con las siguientes topologías:

- Sistemas fijos punto a punto, en cualquier modalidad.
- Sistemas fijos punto-multipunto, operando en secuencia directa, saltos de frecuencia o sistemas híbridos.

- Sistemas para uso exclusivo dentro de edificaciones y áreas conexas, para aplicaciones de área local.

Podemos apreciar que en Colombia se permiten sistemas fijos punto a punto y punto-multipunto para diferentes modalidades de espectro ensanchado, lo cual es similar a lo que ocurre en Ecuador; pero los demás sistemas autorizados en nuestro país son “restringidos” a aplicaciones LAN.

3.2.2.3. Paraguay

De acuerdo a de la Norma Técnica de los sistemas de Espectro Ensanchado de la CONATEL, todos los Sistemas de Espectro Ensanchado en Paraguay, deberán operar en la banda de frecuencia: 2400-2483.5 MHz, con asignación de carácter secundario, es decir, no tendrán protección contra interferencia de otros sistemas que operen a título primario.

Solo se permitirá la topología punto a punto con antenas directivas, potencia radiada aparente máxima de 4W (6dBW) y potencia máxima del

transmisor 1W (30dBm); en el caso de áreas urbanas se podrán utilizar antenas direccionales con apertura máxima de 10 grados.

Para los sistemas por Secuencia Directa se necesita ancho de banda mínimo de 500 kHz para atenuación de 6dB, densidad de potencia transmitida máxima de 8dBm para cualquier banda de 3Khz y ganancia de procesamiento mínima de 10dB.

Para los sistemas por Salto de Frecuencia se requiere un mínimo de 75 frecuencias de salto con ancho de canal máximo de 25Khz, ancho de banda máximo 1Mhz para atenuación de 20dB, promedio de ocupación del canal constante e inferior a 400ms.

A diferencia de lo que ocurre en Ecuador y en Colombia, Paraguay únicamente permite sistemas Espectro Ensanchado punto a punto que operen en la banda de 2400MHz, reconociendo únicamente las modalidades de Secuencia Directa y Salto de Frecuencia. Por lo demás, la normativa es similar a la empleada en nuestro país.

3.2.2.4. Estados Unidos

La FCC aprueba el uso de tres de las técnicas de Espectro Ensanchado dentro de EE.UU.:

- Secuencia Directa,
- Salto de Frecuencia y
- Sistemas Híbridos.

Para los sistemas punto-punto en la banda de 2.4GHz, las antenas deben tener una ganancia máxima de 6dBi, si la sobrepasan deben reducir la potencia de salida del transmisor en 1dB por cada 3dB de exceso. En la banda de 5.7Ghz pueden utilizar antenas de mayor ganancia.

Los sistemas de secuencia directa tienen una densidad espectral de potencia máxima de 8dBm con antenas directivas de 6dBi; si sobrepasan esta ganancia deben reducir la potencia de salida del transmisor en los dB excedentes.

Los sistemas de salto de frecuencia no requieren emplear todos los canales de salto disponibles. En la banda 5.7-5.85 GHz, deben utilizar máximo 75 canales y tener un ancho de banda máximo de

1MHz a 20dB, su tiempo promedio de ocupación no puede superar los 0.4s dentro de un período de 30s. En la banda 2.4-2.4835 GHz, se les permite una potencia de 1W si usan mínimo 75 canales.

Para los sistemas híbridos, la frecuencia de salto debe tener una ocupación promedio canal menor a 0.4s dentro de un período en de (0.4 x número de saltos) seg.; y su densidad espectral de potencia no debe ser mayor a 8dBm. Se aprueba el uso de 1W de potencia de salida del transmisor.

Los niveles de potencia, el ancho de banda y el número de saltos permitidos por la FCC son los mismo que estipula la regulación ecuatoriana. Lo mismo ocurre con las técnicas de espectro ensanchado autorizadas en Estados Unidos. Esto se debe a que el Ecuador, al ser un comprador de tecnología en el sector de telecomunicaciones, se basó en las recomendaciones de la UIT, FCC de Estados Unidos y ETSI de los países europeos, para crear su Plan Nacional de Frecuencias y las restricciones técnicas estipuladas en Ley Especial

de Telecomunicaciones, Adicionalmente debemos recordar que Estados Unidos y Ecuador pertenecen a la Región 2 y por ende reciben recomendaciones similares por parte de la UIT.

CAPÍTULO 4

4. Análisis de la Banda de 2.4GHz en el Mercado Nacional de Telecomunicaciones

4.1. Introducción

El presente capítulo se enfoca en el estudio de la Banda de 2.4 GHz en el Mercado Nacional de Telecomunicaciones, puesto que esta es la banda que se ha seleccionado para el diseño de la red de comunicación móvil.

Procederemos a analizar como se encuentra distribuida actualmente la banda de 2.4GHz, que tipos de servicios se ofrecen en ella, el número de operadores actuales, y determinar para que sector se recomienda el uso de esta banda. Todo esto es necesario debido a que el sector de las Telecomunicaciones es muy dinámico y está sujeto a cambios frecuentes de tecnología y evolución de servicios.

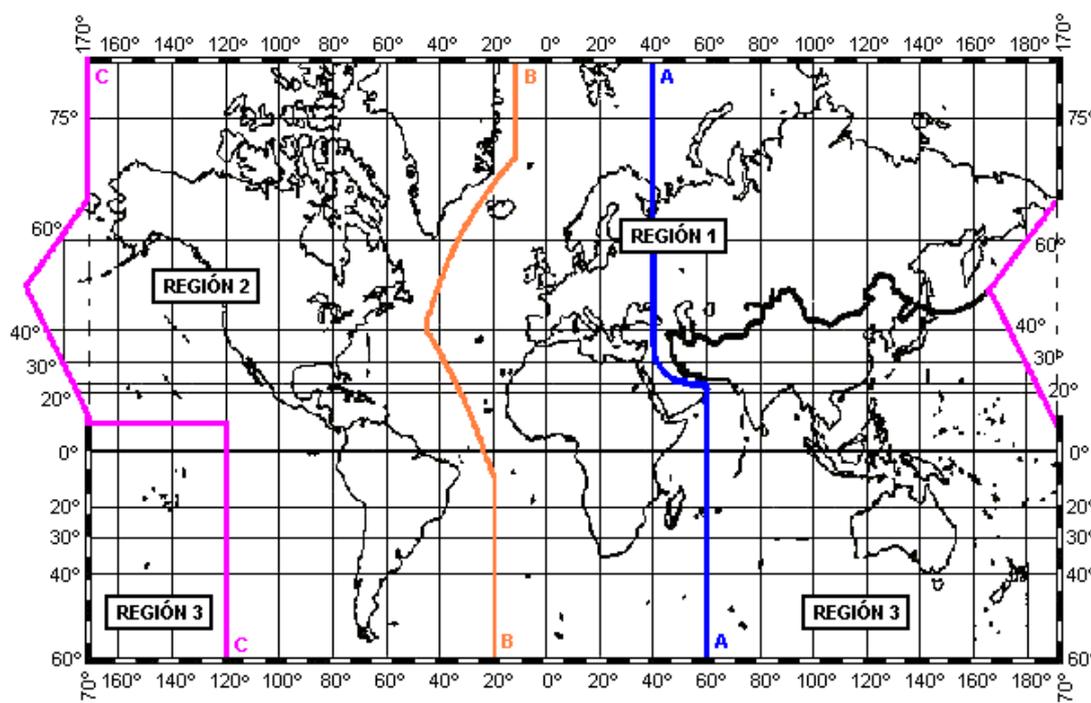
Para este análisis se obtuvo a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones, la información correspondiente a todos los enlaces a nivel nacional que emplean la tecnología de Espectro Ensanchado en sus diferentes modalidades, no solo en la banda de 2.4GHZ, sino en todas las permitidas. Esta información está

actualizada hasta Septiembre del 2003 y por ende ciertos enlaces que estaban en proceso constan con datos limitados.

4.2. Regiones y Zonas

Para la atribución de las bandas de frecuencias se dividió al mundo en tres Regiones, tal como lo muestra la figura 4.1.

Ecuador corresponde a la Región 2 y por ende debe tomar en consideración lo estipulado para dicha Región en el Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.



Fuente: Plan Nacional de Frecuencias

Figura 4. 1 Regiones en que la UIT ha dividido al mundo

4.3. Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado y por tanto es necesario gestionarlo y administrarlo eficientemente. Debido a esto, el denominado “Plan Nacional de Frecuencias”, constituye un instrumento vital para el desarrollo de las telecomunicaciones y por ende para el desarrollo socio-económico de nuestro país y de su relación con el contexto internacional.

A nivel internacional se subdivide al espectro en nueve bandas de frecuencias que se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla IX: Bandas de Frecuencia del Espectro Radioeléctrico

Banda	Símbolo	Rango de Frecuencia	Tipo de Onda
4	VLF	3 – 30 kHz	Megamétricas
5	LF	30 – 300 kHz	Kilométricas
6	MF	300 - 3000 kHz	Hectométricas
7	HF	3 – 30 MHz	Decamétricas
8	VHF	30 – 300 MHz	Métricas
9	UHP	300 - 3000 MHz	Decimétricas
10	SHF	3 – 30 GHz	Centimétricas
11	EHF	30 – 300 GHz	Milimétricas
12		300 - 3000 GHz	Decimilimétricas

4.4. Plan Nacional de Frecuencias

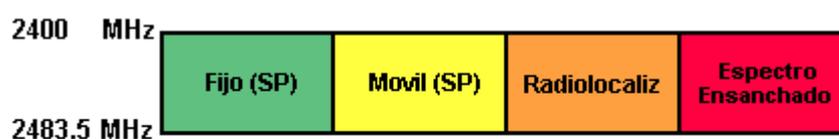
El objetivo principal del Plan Nacional de Frecuencias es el de proporcionar las bases para un proceso eficaz de gestión del espectro radioeléctrico y asegurar una utilización óptima del mismo; así como, la prevención de interferencias perjudiciales entre los distintos servicios. Proporciona a las personas naturales o jurídicas,

interesadas en el uso del espectro radioeléctrico, una guía de atribuciones de bandas para los servicios radioeléctricos. El Cuadro de Atribución del Espectro Radioeléctrico forma parte del Plan Nacional de Frecuencias y se puede apreciar en el anexo 5.

Nuestro estudio se centra en la banda de 2400 MHz a 2483.5 MHz, también conocida como banda de 2.4GHz. De acuerdo a la ITU-R 5.150 esta banda corresponde al grupo de las Bandas ICM, es decir, ha sido designada para aplicaciones industriales, científicas y médicas que emplean un espacio reducido de energía radioeléctrica.

4.5. Servicios de la Banda de 2.4GHz

De acuerdo a la ITU-R en la Región 2, a la cual pertenece Ecuador, la banda de 2400 a 2483.5 MHz está destinada para los siguientes servicios: Fijo, Móvil y Radiolocalización.



Fuente: Plan Nacional de Frecuencias

Figura 4. 2 Segmento correspondiente a la banda de 2.4GHZ del Cuadro de Atribución del Espectro Radioeléctrico

Esto quedo ratificado por el Plan Nacional de Frecuencias en el Cuadro de Atribución del Espectro Radioeléctrico, tal como se puede ver en la figura 4.2. Adicionalmente, en nuestro país se atribuye a esta banda servicios de radiocomunicaciones con tecnología Espectro Ensanchado

4.5.1. Servicio Fijo

Es un servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados, cuya localización es conocida.

4.5.2. Servicio Móvil

Es un servicio de radiocomunicación entre estaciones móviles o entre una estación terrestre fija y una estación móvil.

4.5.3. Servicio de Radiolocalización

Es la radio determinación utilizada para fines distintos a los propósitos de radionavegación.

4.6. Empresas que operan en la Banda de 2.4GHz

Existe una creciente demanda para prestar servicios públicos y privados de telecomunicaciones en las bandas atribuidas a la tecnología Espectro Ensanchado, principalmente la Banda de 2.4GHz, para la cual se encuentra un gran número de equipos apropiados disponibles en el mercado.

A continuación listamos los tipos de empresas que están usando esta tecnología actualmente en el país:

- Proveedoras de Servicio de Internet.
- Proveedoras de Enlaces de Datos.

Dentro de estas empresas podemos mencionar a: Conecel, Impsat, Impsatel, Megadatos, Otecel, Pacifictel, Quicksat, Ramtelecom, Suratel, Telconet y Espotel.

4.7. Enlaces de Espectro Ensanchado a Nivel Nacional

De acuerdo a los datos proporcionados por la SENATEL y otorgados por la SUPTEL, existen 832 enlaces de Espectro Ensanchado registrados en Ecuador y algunas empresas se encuentran gestionando el permiso de operación de más enlaces de este tipo. De estos enlaces el 70.55% operan en la banda de 2.4GHz, como se puede apreciar en la figura 4.3.

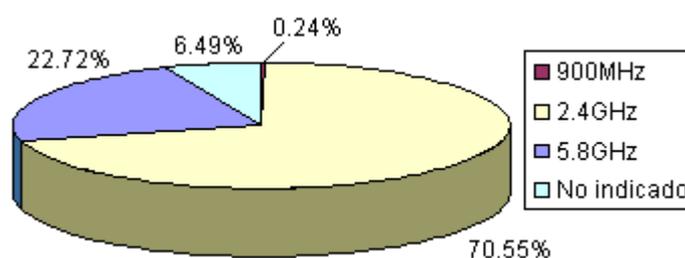


Figura 4. 3 Enlaces de Espectro Ensanchado a Nivel Nacional por Frecuencia de Operación

La mayor parte de los enlaces de Espectro Ensanchado, independientemente de su frecuencia de operación, modalidad o sistema, se encuentran en las principales provincias del país: Guayas, Pichincha y en menor grado en Azuay. Guayas posee el 40.89% de los enlaces que operan en la banda de 2.4GHz, y Pichincha el 32.28%, como se puede apreciar en la figura 4.4; debido a esto se hará más adelante un análisis detallado de estas dos provincias en este capítulo.

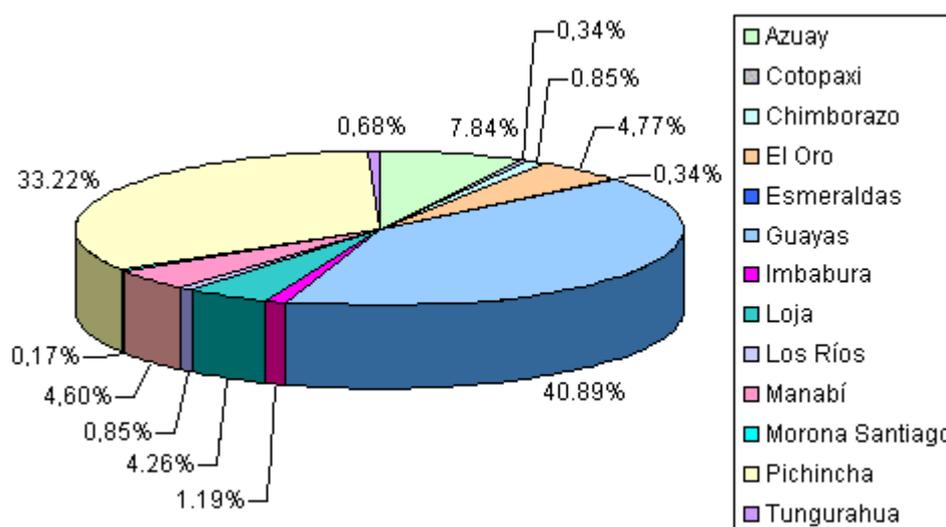


Figura 4. 4 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz a Nivel Nacional por Provincia

Podemos observar que en las provincias antes mencionadas, la mayoría de los enlaces operan con el Sistema Punto-Multipunto. A nivel nacional el 58.43% de los enlaces son Punto-Multipunto, lo cual

evidencia el alto grado de explotación de este tipo de sistema especialmente por las empresas Telconet y Megadatos, ver las figuras 4.5, 4.6 y 4.7.

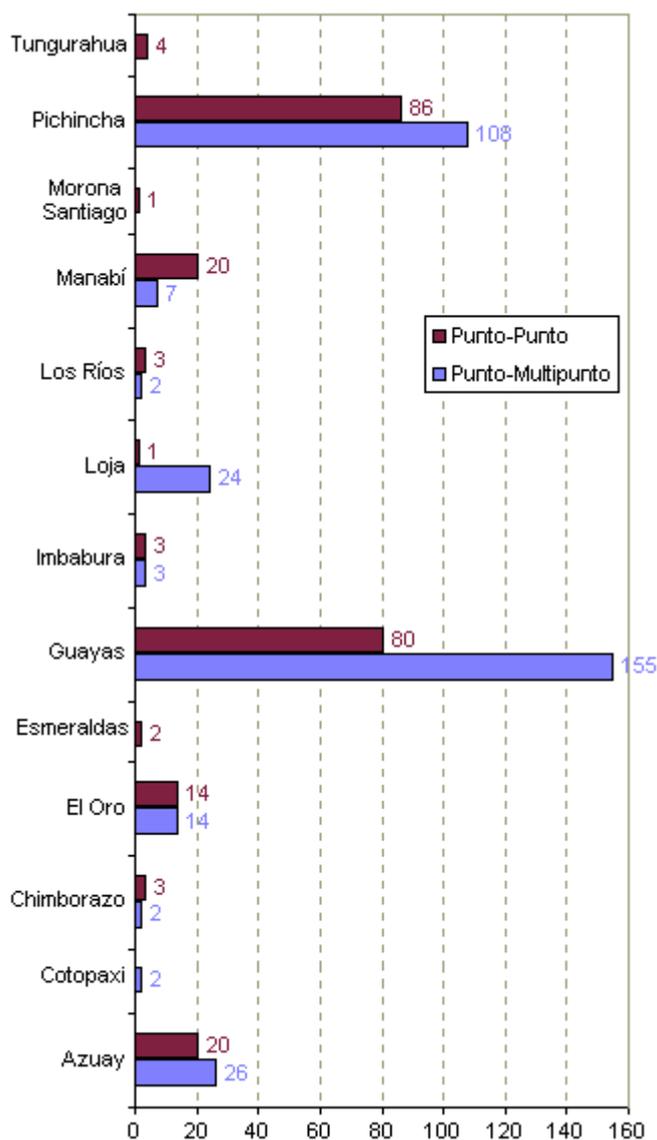


Figura 4. 5 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz por Provincia y Sistema

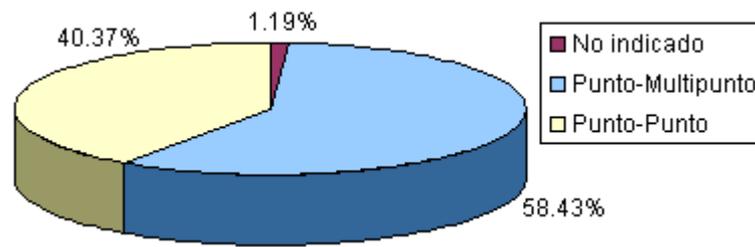


Figura 4. 6 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz por Sistema

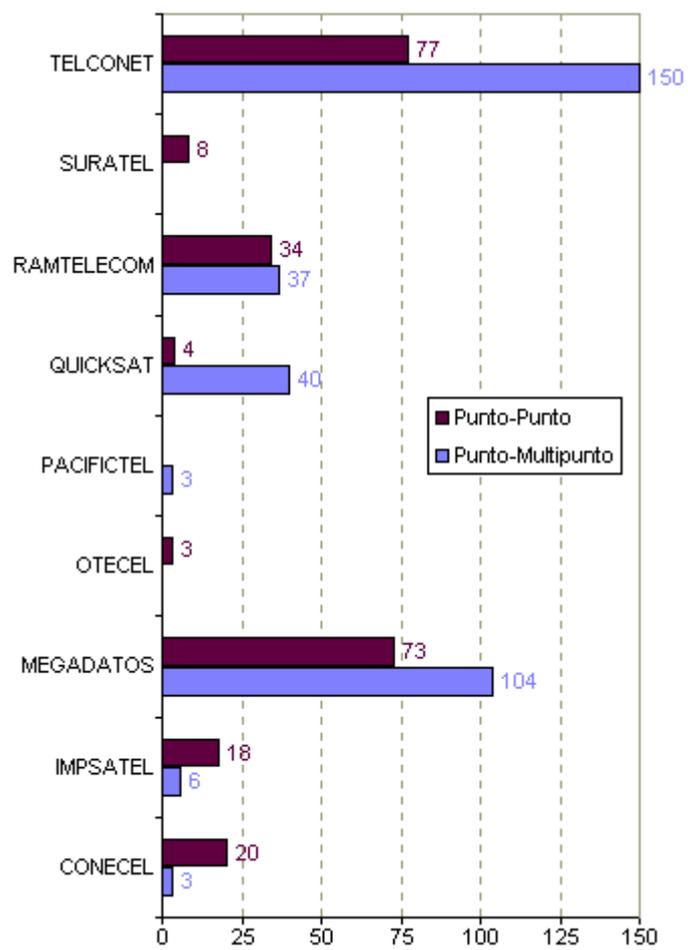


Figura 4. 7 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz por Operadora y Sistema

Las diferentes empresas que brindan servicios de telecomunicaciones públicos y privados en el país, en la Banda de 2.4 Ghz se detallan en las figuras 4.7 y 4.8.

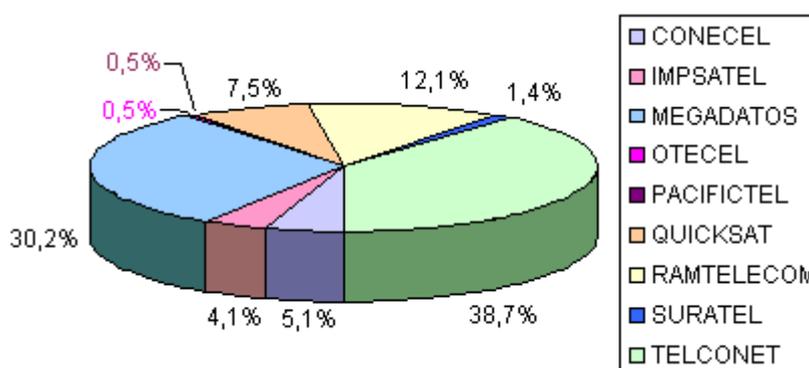


Figura 4. 8 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz a Nivel Nacional por Operadora

Podemos apreciar que la empresa Telconet (proveedora de servicios de internet) es la que más enlaces tiene registrados. Este tipo de empresas suele emplear la tecnología de espectro ensanchado, por sus bajos costos, para satisfacer de forma inalámbrica a clientes de acceso relativamente difícil.

A nivel nacional, el 35.52% de los enlaces de espectro ensanchado que operan en la banda 2.4GHz tienen una potencia registrada de 30mW. Dichos enlaces poseen una potencia media de 32mW, una potencia mínima de 1mW y una potencia máxima de 65mW. Ver figura 4.9.

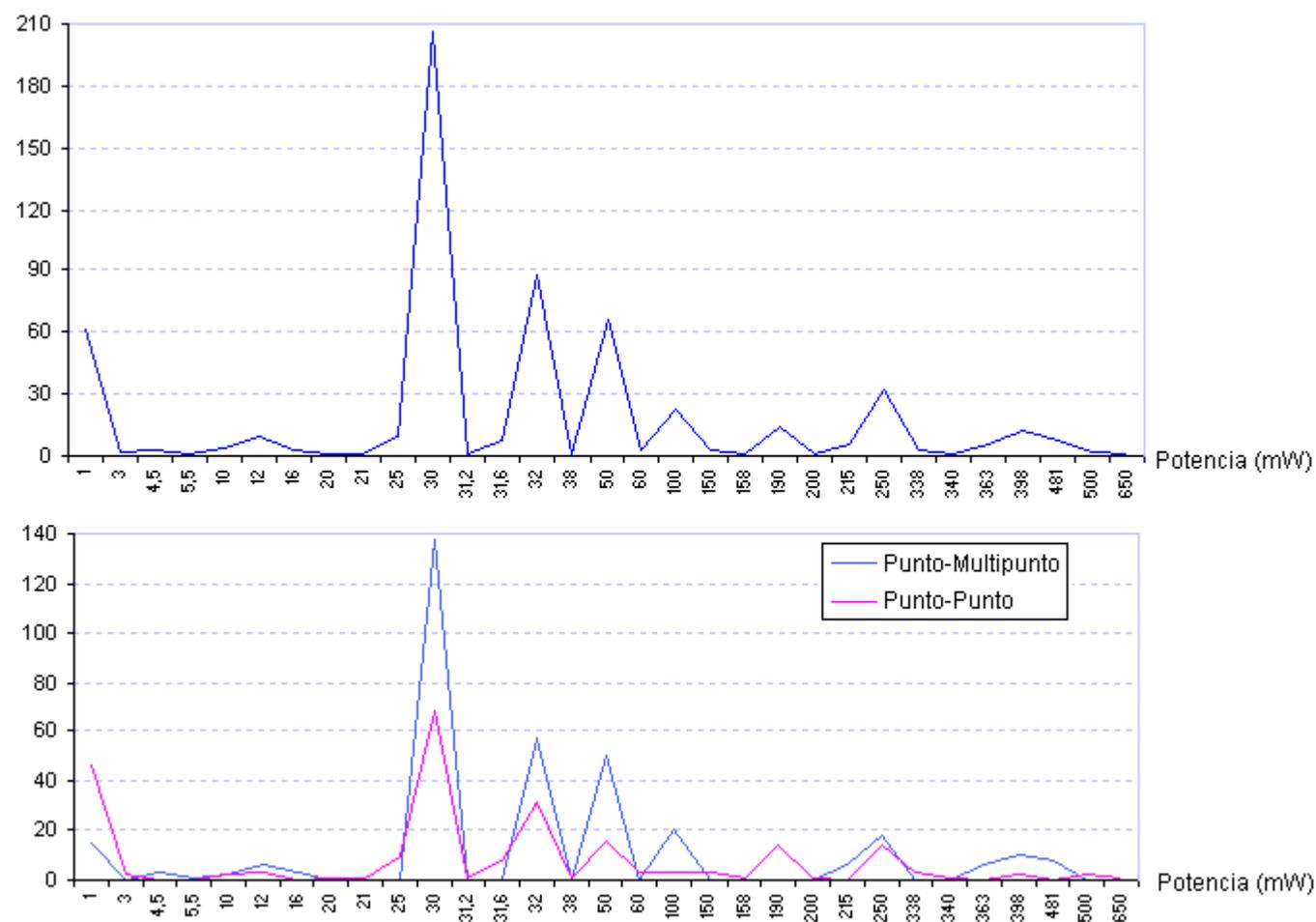


Figura 4. 9 Potencia de los Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz a Nivel Nacional

4.8. Enlaces de Espectro Ensanchado en Azuay

Azuay es una de las tres provincias principales de Ecuador y posee el 7.84% de los enlaces de espectro ensanchado que operan en la banda de 2.4GHz, estos 46 enlaces se encuentran en la capital provincial Cuenca.

Anteriormente se mencionó que la mayor parte de los enlaces en Azuay operan con el sistema Punto-Multipunto, este tipo de enlaces representa el 56.52% en esta provincia, como se puede apreciar en la figura 4.10.

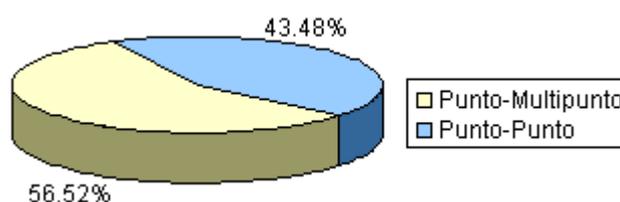


Figura 4. 10 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca por Sistema

En Cuenca son cinco empresas las que emplean los enlaces de espectro ensanchado en la banda de 2.4GHz, de las cuales podemos destacar a Quicksat (39.13%) y Telconet (28.26%) por poseer la mayor parte de dichos enlaces, como se puede apreciar en la figura 4.11. Quicksat opera principalmente con el sistema Punto-Multipunto,

mientras que Telconet opera únicamente con enlaces Punto-Punto.

Ver la figura 4.12.

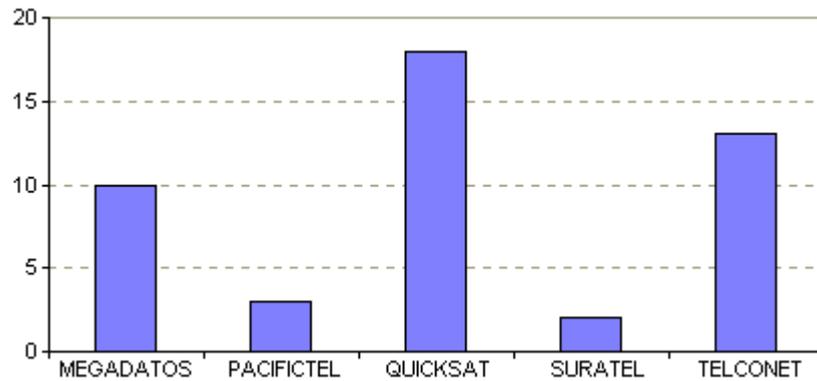


Figura 4. 11 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca por Operadora

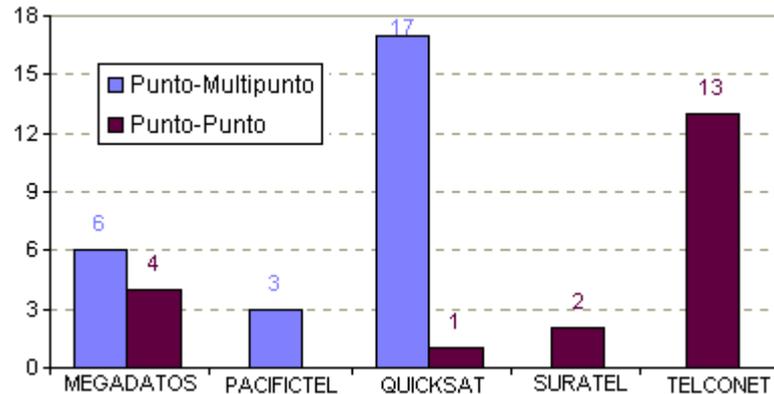


Figura 4. 12 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca por Operadora y Sistema

La mayor parte de estos enlaces en Azuay operan con una potencia de 32mW bajo el sistema Punto-Multipunto. Poseen una potencia

media de 13.2mW; potencia mínima de 1mW y potencia máxima de 338mW ambas bajo el sistema Punto-Punto, tal como se puede apreciar en las figuras 4.13 y 4.14.

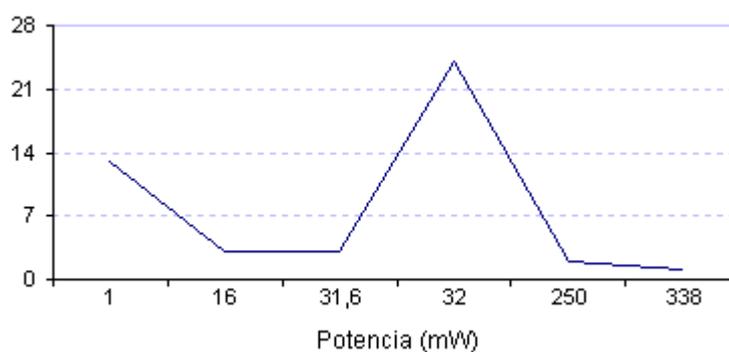


Figura 4. 13 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca

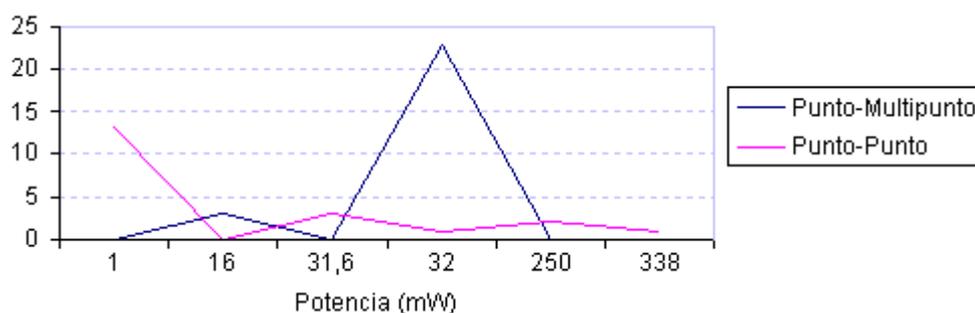


Figura 4. 14 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Cuenca por Sistema

4.9. Enlaces de Espectro Ensanchado en Pichincha

Pichincha es otra de las tres provincias principales de Ecuador y posee el 33.22% de los enlaces de Espectro Ensanchado que opera en la

banda de 2.4GHz. La mayor parte de estos 195 enlaces se encuentran en la capital provincial San Francisco de Quito, como se puede apreciar en la figura 4.15.

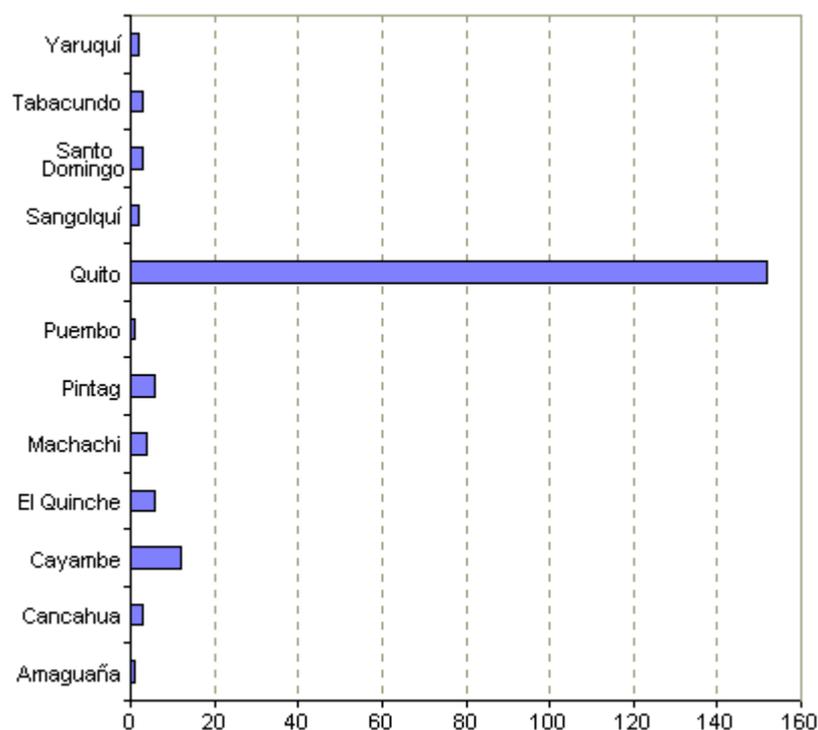


Figura 4. 15 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha

Tal como se mencionó anteriormente, en Pichincha la mayoría de los enlaces de espectro ensanchado de 2.4GHz operan con sistema Punto-Multipunto, concretamente el 55.38%, ver figura 4.16.

En Pichincha siete empresas emplean este tipo de enlaces para brindar servicios de telecomunicaciones; las que poseen la mayoría

de los enlaces registrados son: Telconet (43.59%) y Megadatos (27,69%), ver la figura 4.17; los enlaces de ambas empresas son mayoritariamente Punto-Multipunto, como se puede apreciar en la figura 4.18.

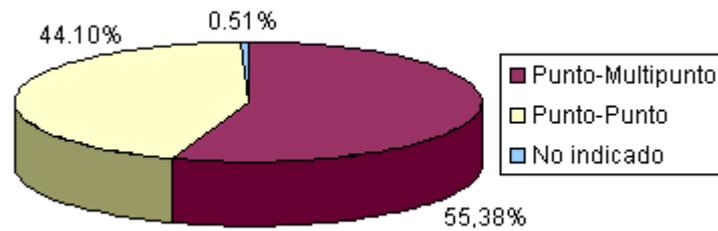


Figura 4. 16 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha por Sistema

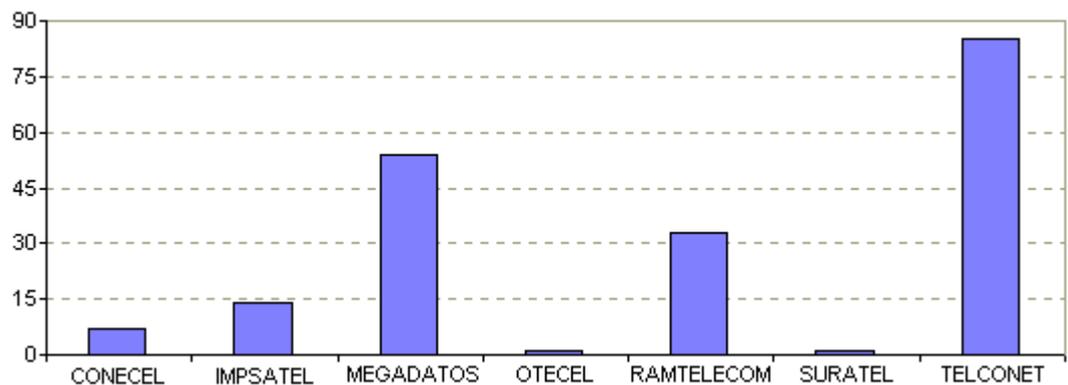


Figura 4. 17 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha por Operadora

La mayor parte de estos enlaces en Pichincha operan con una potencia de 30mW. Estos enlaces tienen una potencia media de

47.47mW, potencia mínima de 10mW y potencia máxima de 398mW.

Ver las figuras 4.19 y 4.20.

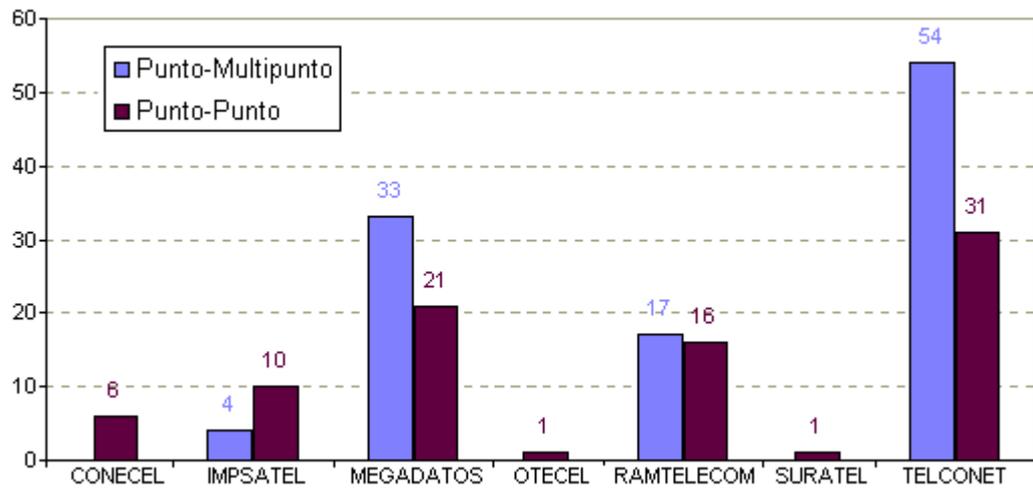


Figura 4. 18 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha por Operadora y Sistema

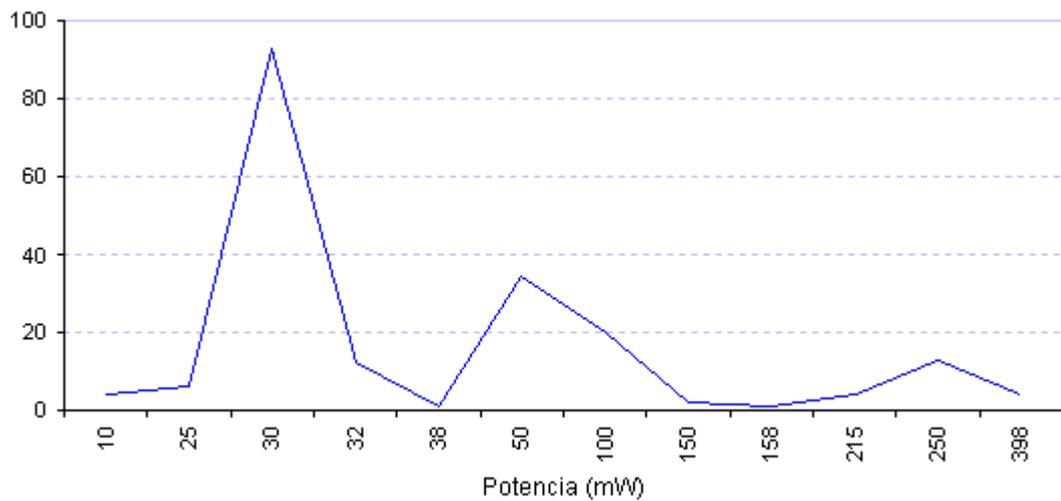


Figura 4. 19 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha

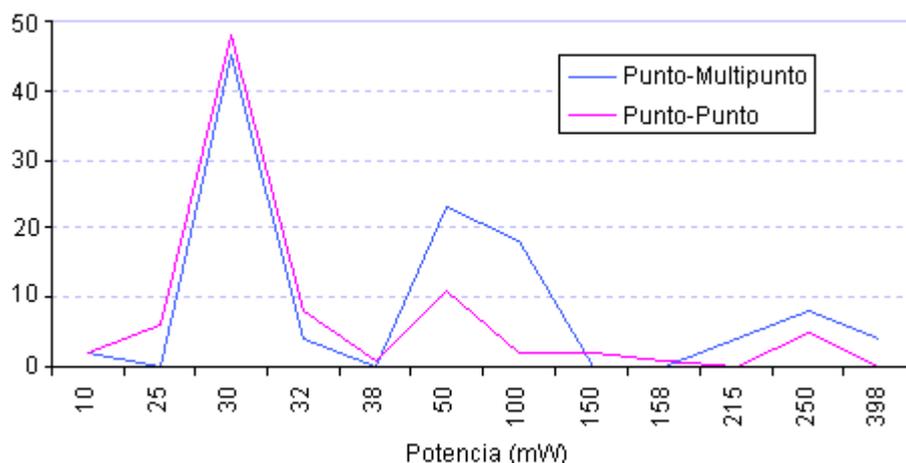


Figura 4. 20 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Pichincha por Sistema

4.9.1. Enlaces de Espectro Ensanchado en Quito

En Quito se encuentra el 77.95% de los enlaces de espectro ensanchado de Pichincha que operan en la banda de 2.4GHz; estos 152 enlaces de Quito representan el 25.89% a nivel nacional. Por ello es importante analizar la situación de dichos enlaces en esta ciudad. De estos enlaces, 82 operan bajo el sistema Punto-Multipunto, lo cual representan el 53.95%. Ver figura 4.21.

Al igual que ocurre en Pichincha, Quito posee siete empresas que emplean los enlaces de espectro ensanchado para proveer servicios de telecomunicaciones, de las cuales debemos

mencionar a Telconet (44.08%) y Megadatos (30.26%); la mayoría de los enlaces de ambas empresas operan bajo el sistema Punto-Multipunto, como se muestra en la figura 4.22.

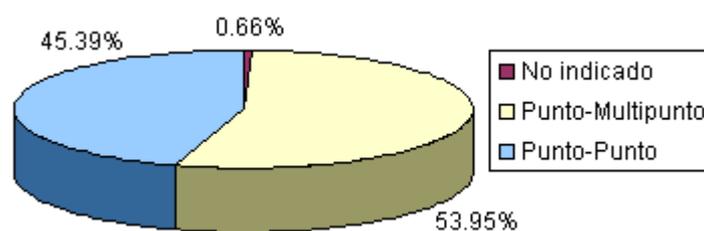


Figura 4. 21 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Quito por Sistema

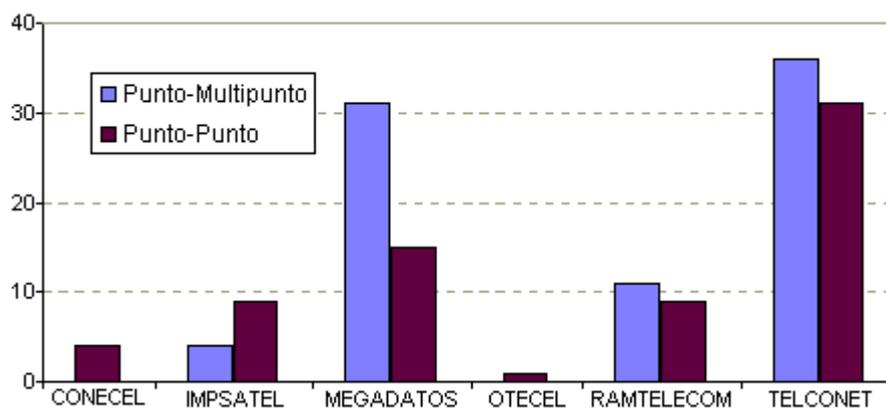


Figura 4. 22 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Quito por Operadora y Sistema

La potencia media de estos enlaces es 50.62mW, mientras que la potencia mínima y máxima son las mismas que a nivel

provincial. De igual manera la mayor parte de los enlaces operan con una potencia de 30mW. Ver figura 4.23.

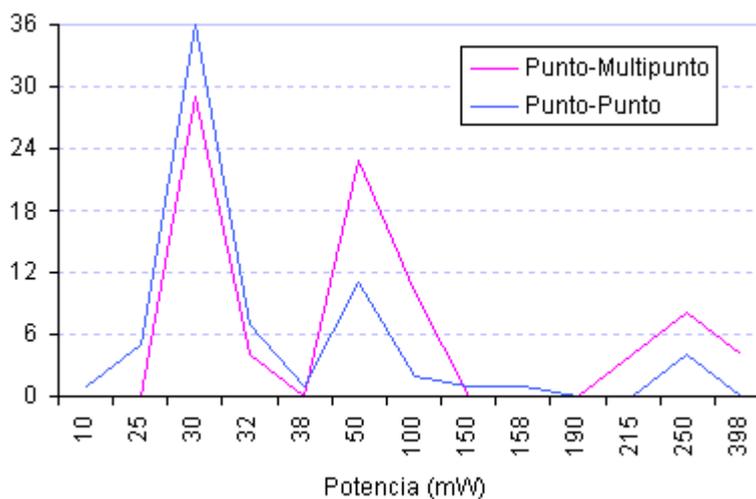


Figura 4. 23 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Quito por Sistema

4.10. Enlaces de Espectro Ensanchado en Guayas

Guayas es una de la tres provincias principales de Ecuador y posee el 40.89% de los enlaces de Espectro Ensanchado que opera en la banda de 2.4GHz. La mayor parte de estos 240 enlaces se encuentran en la capital provincial Santiago de Guayaquil, como se puede apreciar en la figura 4.24.

Anteriormente se mencionó que en Guayas la mayoría de los enlaces de espectro ensanchado de 2.4GHz operan con sistema

Punto-Multipunto, estos 155 enlaces representan el 64.58%, tal como se puede ver en la figura 4.25.

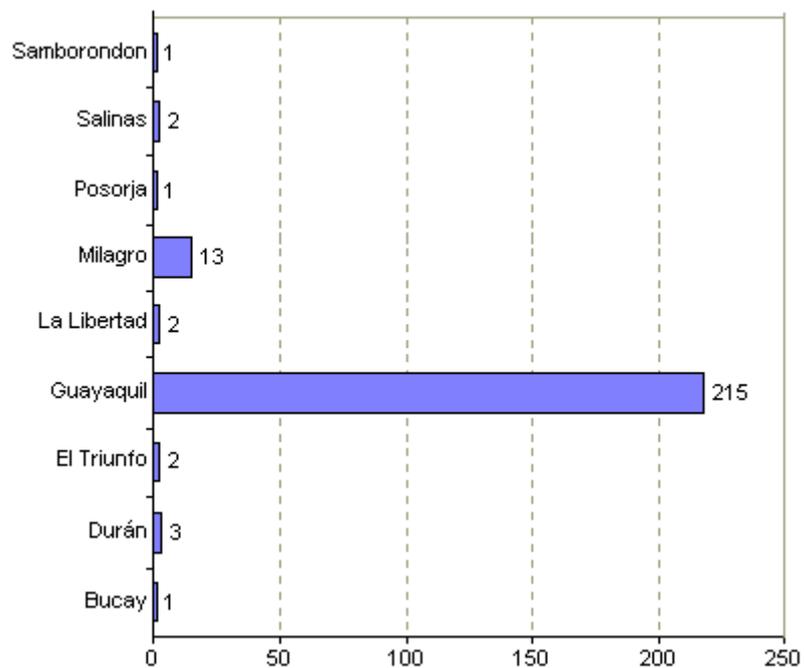


Figura 4. 24 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas

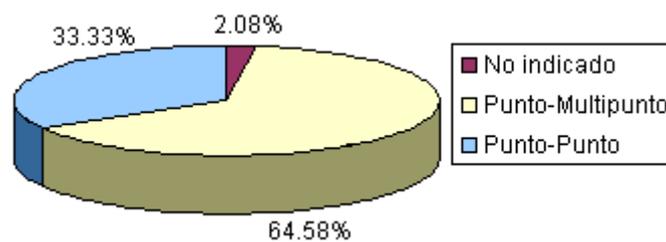


Figura 4. 25 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas por Sistema

En Guayas son seis las empresas emplean los enlaces espectro ensanchado para brindar servicios de telecomunicaciones en la banda de 2.4GHz; entre ellas cabe destacar a las que poseen la mayoría de los enlaces registrados: Telconet (26.25%) y Megadatos (38.33%), ver la figura 4.26; la mayoría de los enlaces de ambas empresas son Punto-Multipunto, en el caso de Telconet el 96.83% de los enlaces opera con este tipo de sistema, ver la figura 4.27.

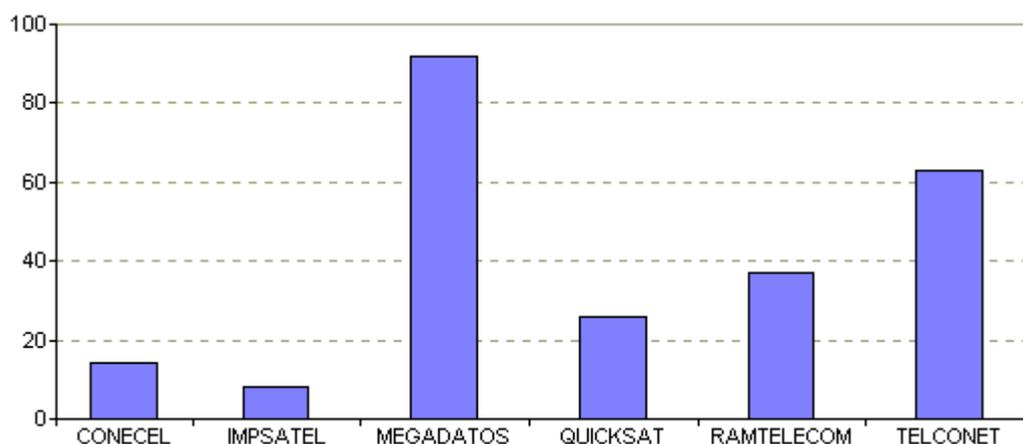


Figura 4. 26 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas por Operadora

La mayor parte de estos enlaces en Guayas operan con una potencia de 30mW. Estos enlaces tienen una potencia media de 93.87mW, potencia mínima de 1mW y potencia máxima de 500mW. Ver las figuras 4.28 y 4.29.

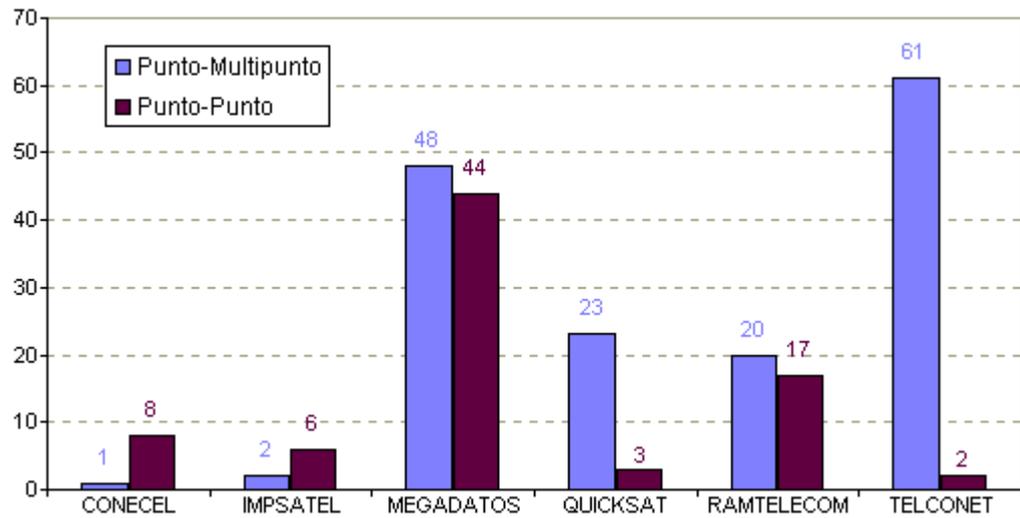


Figura 4. 27 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas por Operadora y Sistema

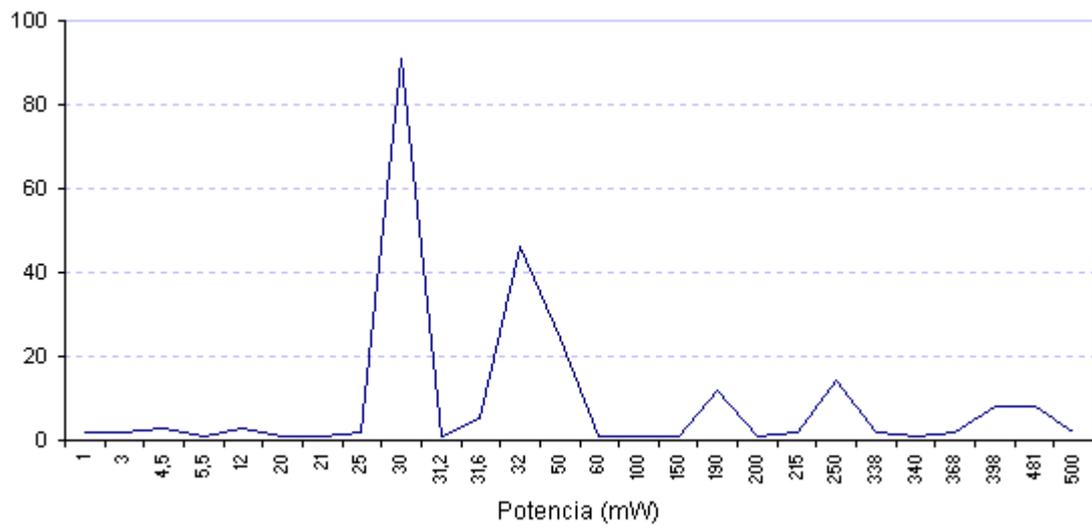


Figura 4. 28 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas

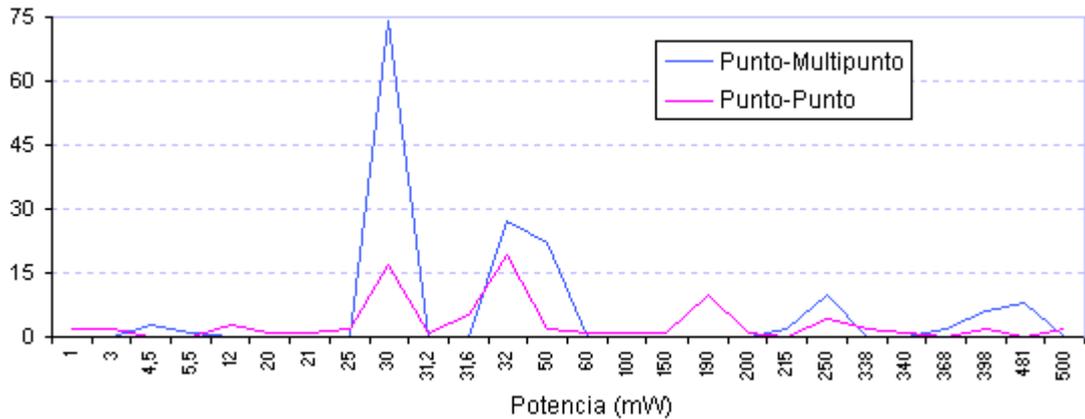


Figura 4. 29 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayas por Sistema

4.10.1. Enlaces de Espectro Ensanchado en Guayaquil

La ciudad de Guayaquil posee el 89.58% de los enlaces de espectro ensanchado de Guayas que operan en la banda de 2.4GHz, estos 215 enlaces representa el 36.63% a nivel nacional. Debido a esto y a que se diseñará un sistema de comunicación móvil en esta se ciudad, se procederá a analizar los enlaces existentes en la misma. De estos enlaces, 149 operan bajo el sistema Punto-Multipunto, lo cual representa el 69.3%, ver la figura 4.30.

En Guayaquil son seis las empresas que emplean este tipo de enlaces, entre ellas debemos mencionar a Megadatos que posee el 37.21% de los enlaces y a Telconet que tiene

registrados el 27.44%, ver la figura 4.31. Todos los enlaces de Telconet operan bajo el sistema Punto-Multipunto, al igual que la mayoría de Megadatos, como se puede apreciar en la figura 4.32.

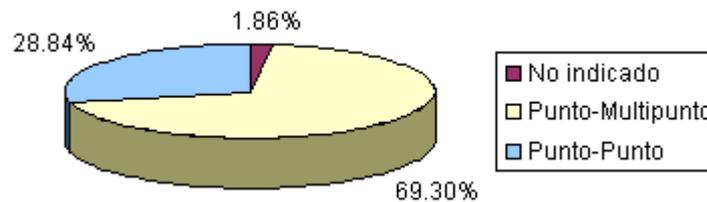


Figura 4. 30 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Sistema

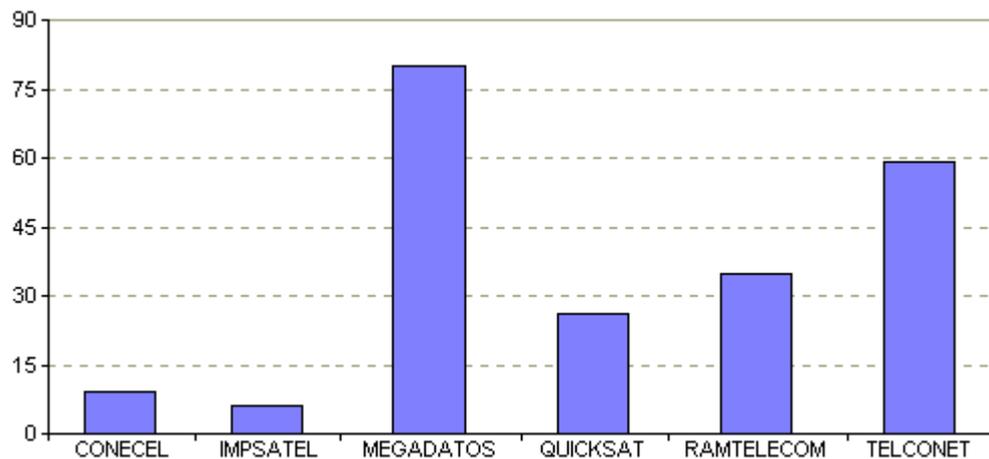


Figura 4. 31 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Operadora

La potencia media de estos enlaces es de 51.6mW, la potencia mínima es de 3mW y la potencia máxima es de

500mW ambas bajo sistema Punto-Punto. La mayoría de los enlaces Punto-Punto operan con una potencia de 32mW, mientras que la mayoría de los enlaces Punto-Multipunto operan con una potencia de 30mW. Ver figuras 4.33 y 4.34.

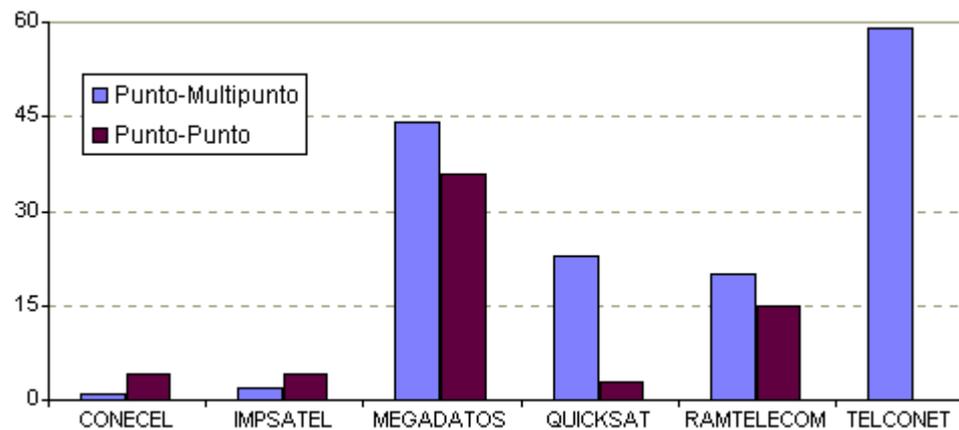


Figura 4. 32 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Operadora y Sistema

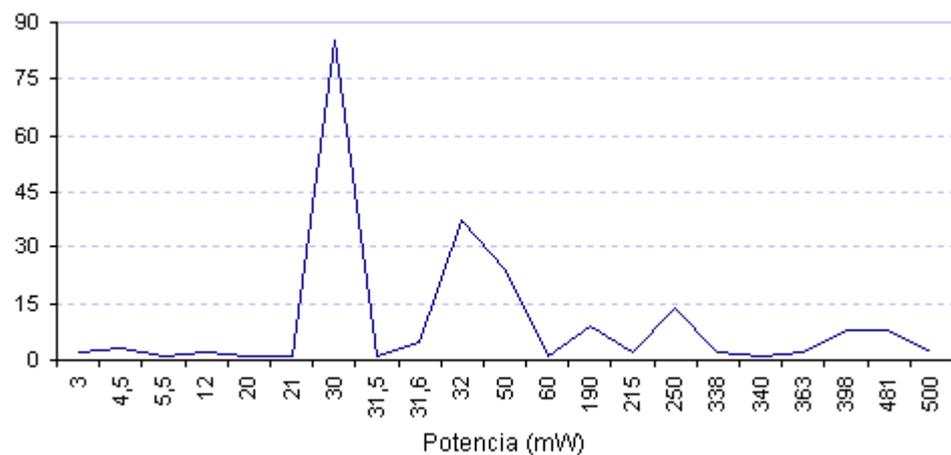


Figura 4. 33 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil

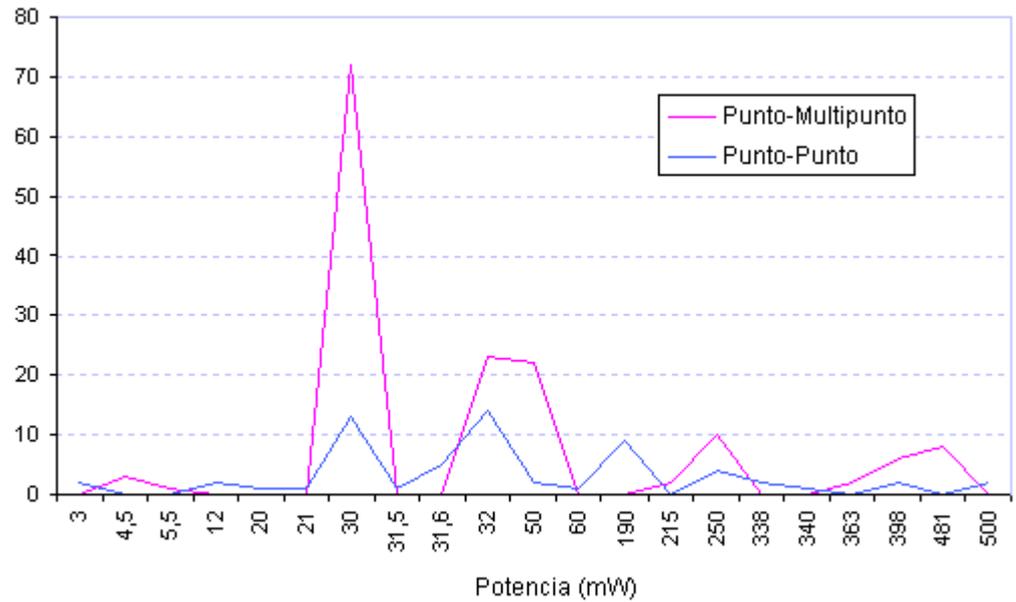


Figura 4. 34 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Sistema

De acuerdo a Censo Nacional realizado en el 2001, Guayaquil está dividida en 14 parroquias urbanas, que se pueden apreciar en la tabla VIII; y cinco parroquias rurales.

Tabla X: Parroquias urbanas de Guayaquil

Parroquia	Habitantes	Predios	Viviendas
Pedro Carbo	13462	6078	4192
Roca	7229	2101	2599
Rocafuerte	8761	7687	3300
Olmedo	9516	4326	3384
Bolívar	9149	1306	2823
Ayacucho	11976	4323	3510
9 de Octubre	6680	2137	2164
Sucre	15071	1889	4290
Urdaneta	5323	3003	7528
Tarqui	835486	209366	220226
Ximena	500076	103127	115528

Parroquia	Habitantes	Predios	Viviendas
García Moreno	60255	6949	15448
Letamendi	101615	14653	23534
Febres Cordero	341334	50347	71938

En la figura 4.35 podemos apreciar que Tarqui es la parroquia que más enlaces posee, esto se debe a su ubicación y gran extensión, abarca casi todo el norte y parte del centro de la ciudad. El conjunto de las cinco parroquias rurales también presenta un alto porcentaje de enlaces, lo cual se debe a dos motivos: el acceso a las zonas rurales suele realizarse a través de enlaces inalámbricos y se están agrupando los enlaces de cinco diferentes lugares.

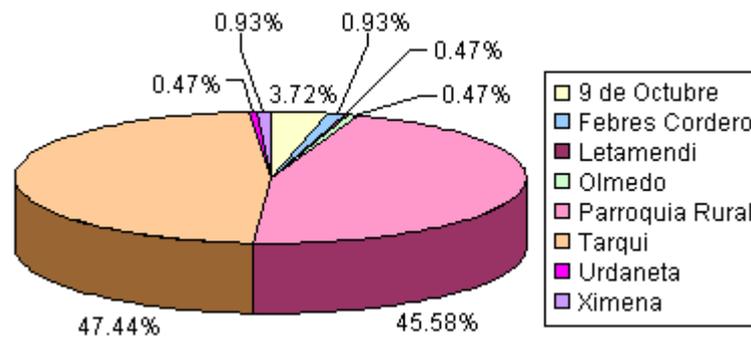


Figura 4. 35 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Parroquia

La mayor parte de los enlaces de Tarqui operan bajo el sistema Punto-Multipunto, como se puede apreciar en las figuras 4.36 y 4.37.

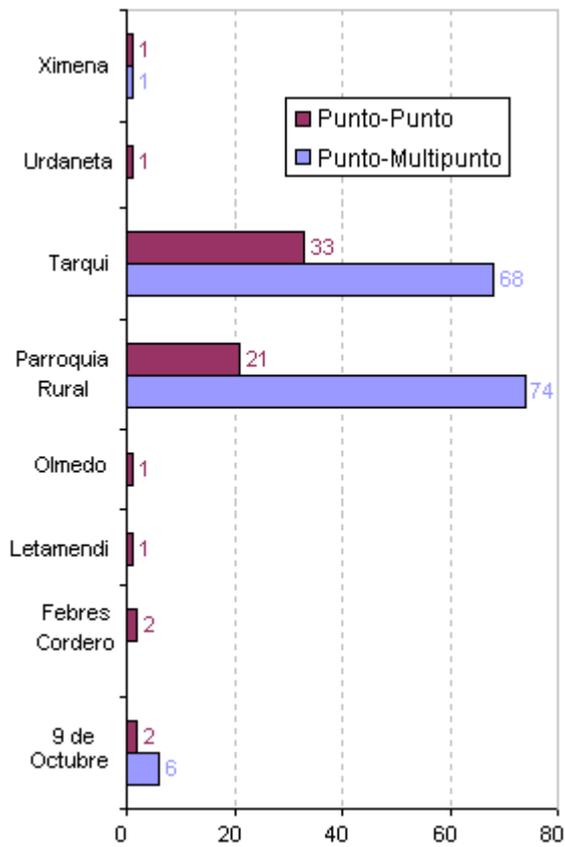


Figura 4. 36 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Guayaquil por Parroquia y Sistema

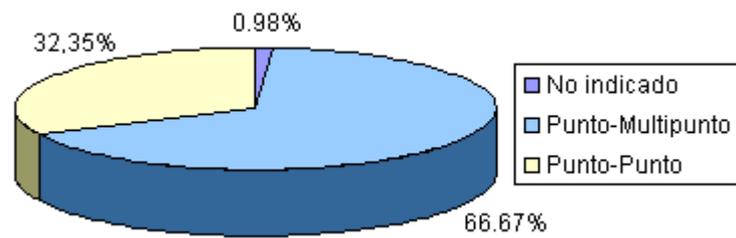


Figura 4. 37 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Tarqui por Sistema

En Tarqui operan cinco empresas, de las cuales Megadatos tiene registrados el 46.08% de los enlaces de esta parroquia, estos 50 enlaces operan equitativamente con sistema Punto-Punto y Punto-Multipunto. Ver la figura 4.38.

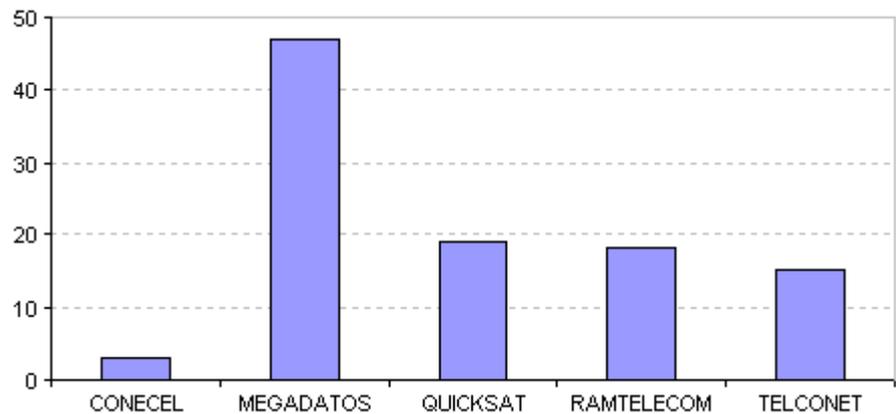


Figura 4. 38 Enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Tarqui por Operadora

En general, la mayoría de los enlaces de Tarqui opera con una potencia de 30mW o 32mW, tal como ocurre con los enlaces Punto-Punto; mientras que para los enlaces Punto-Multipunto, la mayoría opera con una potencia de 50mW. La potencia media de todos los enlaces de Tarqui que operan en la banda de 2.4GHz es de 114.73mW, la potencia mínima es 4.5mW con sistema Punto-Multipunto y la potencia máxima es 500mW con sistema Punto-Punto. Ver las figuras 4.39 y 4.40.

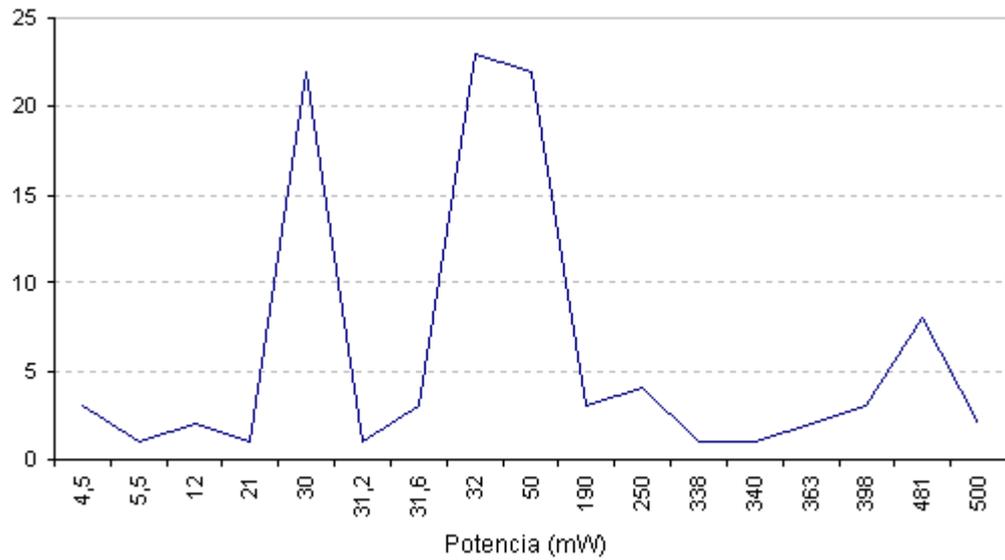


Figura 4. 39 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Tarqui

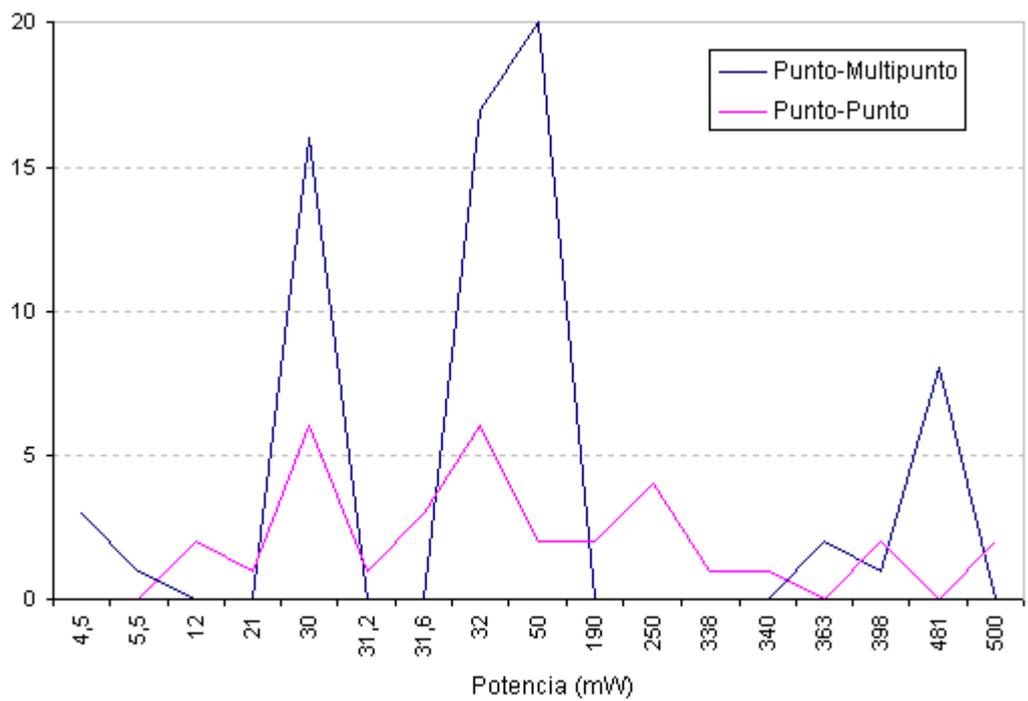


Figura 4. 40 Potencia de los enlaces de Espectro Ensanchado de 2.4GHz en Tarqui por Sistema

Podemos darnos cuenta que la Banda de 2.4GHz se utiliza ampliamente para brindar los servicios de telecomunicaciones, siendo los más pronunciados:

- Enlaces de Datos,
- Enlaces de Radio,
- Proveedores de Servicio de Internet,
- Comunicaciones Móviles.

De igual manera observamos que la banda se encuentra bastante saturada. Tanto es así que debido a la gran cantidad de enlaces en 2.4GHz para operar en la zona céntrica de la Ciudad de Guayaquil se utilizan equipos que convierten la frecuencia para trabajar en 5.8GHz y después volver a bajar en el receptor a 2.4GHz.

CAPÍTULO 5

Planificación de la Red Móvil empleando Espectro Ensanchado

5.1 Planificación

Antes de empezar con el diseño de una red se deben especificar las entradas y salidas del procedimiento, a esto se le denomina planificación. En la figura 5.1 podemos apreciar el esquema de planificación de nuestro diseño.

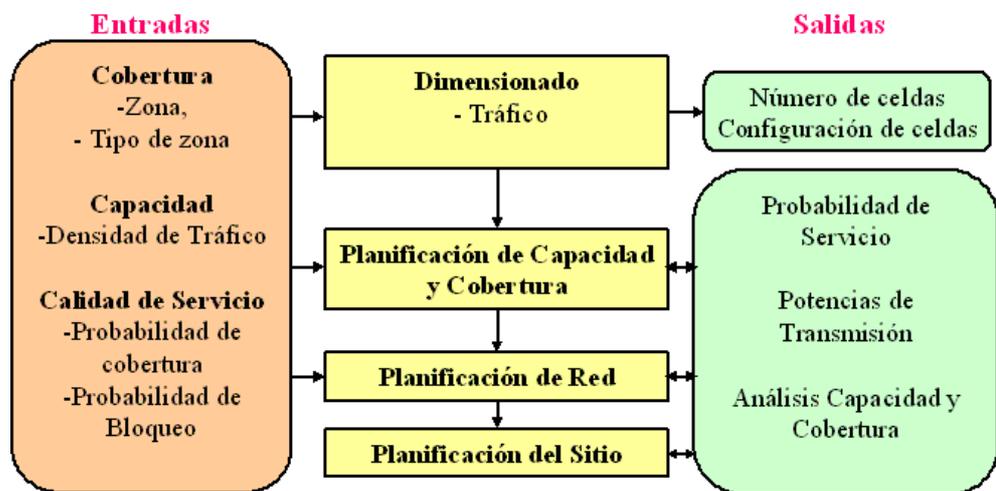


Figura 5. 1 Esquema de Planificación del Diseño de un Sistema de Comunicación Móvil

En el diseño inicial del Sistema de Comunicación Móvil siempre se busca obtener un balance entre Cobertura y Capacidad, dos variables principales e importantes de un diseño, como se muestra en la Figura 5.2.

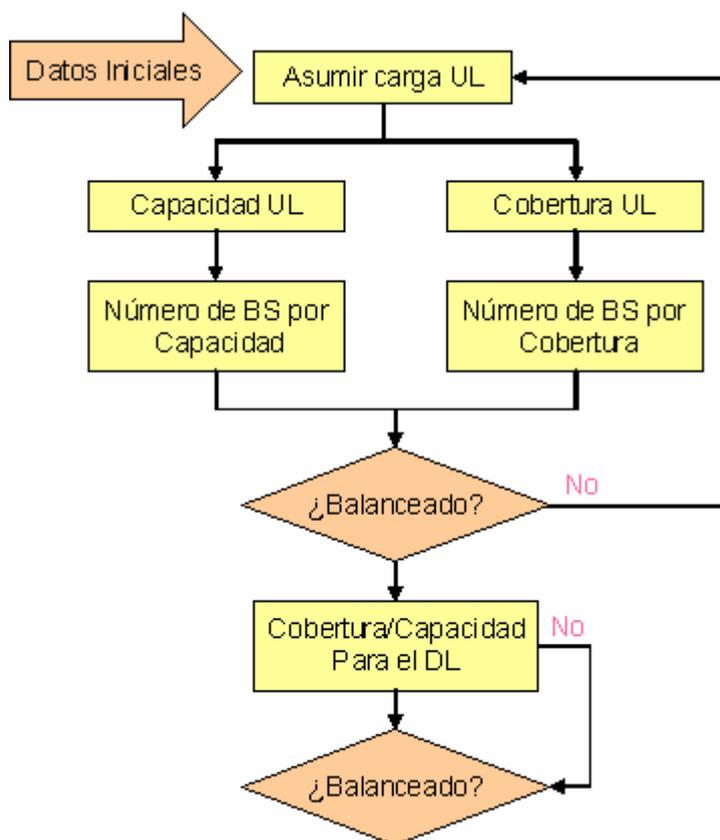


Figura 5. 2 Planificación Nominal

5.1.1 Cobertura

La zona a cubrir en el diseño es la ciudad de Guayaquil, la cual cuenta aproximadamente con un área de 324.4 Km², de

los cuales 180Km² están poblados por más de 2'039789 habitantes.

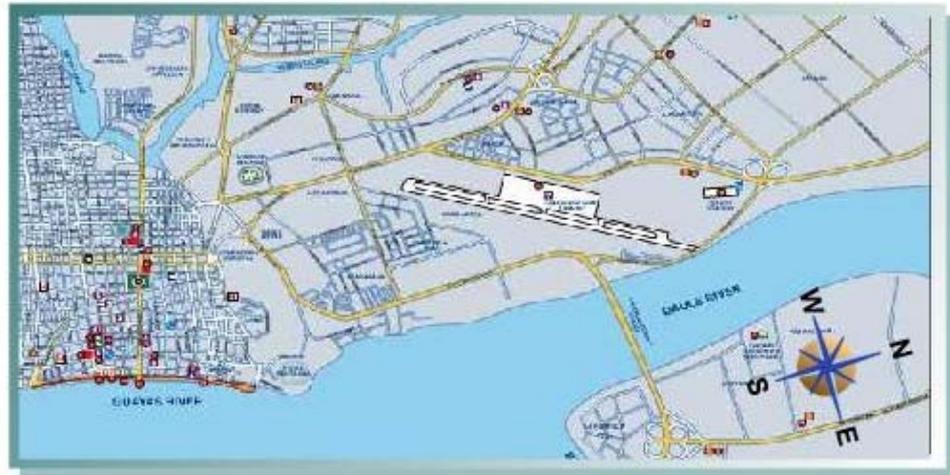


Figura 5. 3 Mapa de la Ciudad de Guayaquil

La ciudad de Guayaquil está dividida en tres tipos de zonas (ver la figura 5.4), las cuales tienen características específicas y estimadas de propagación y densidad de tráfico:

- zona urbana densamente poblada: las diferentes zonas comerciales de Guayaquil
- zona urbana de población media: los conjuntos residenciales, urbanizaciones, etc.
- zona suburbana.

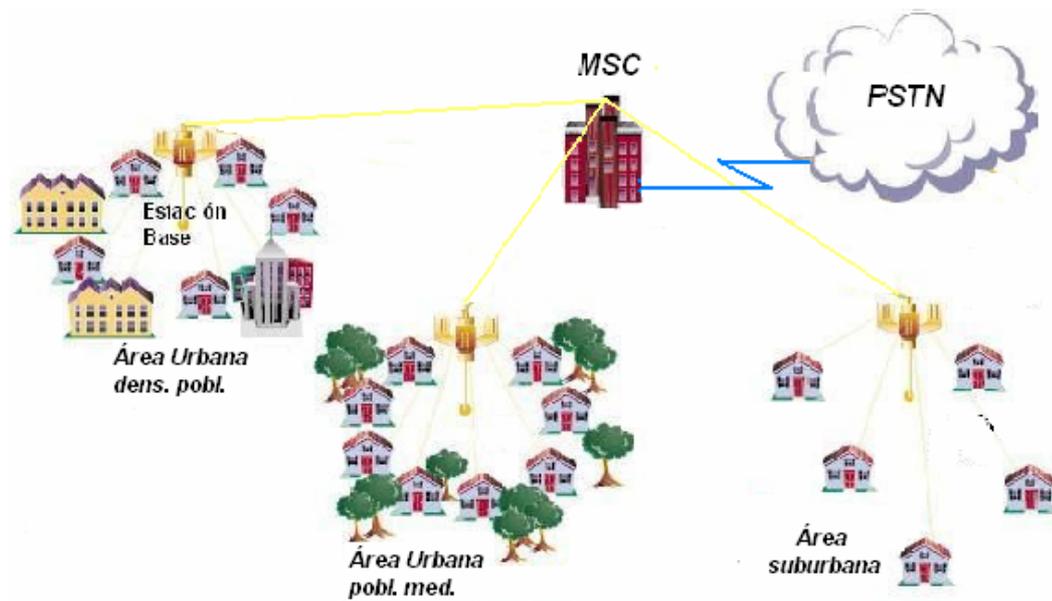


Figura 5. 4 Tipos de Zonas

5.1.2 Capacidad

La capacidad se mide en base a cobertura e ingeniería de tráfico, para lo cual debemos determinar:

- Perfil de los usuarios
- Perspectivas de tráfico
- Crecimiento de la red.

La ingeniería de tráfico nos permitirá determinar el número, tamaño y equipos de las celdas, evitando costos elevados, sobre dimensionamiento o bajo dimensionamiento.

Dentro de Guayaquil, las empresas que prestan servicio de comunicación móvil celular tienen una penetración de:

- Porta: 14.1%
- Bellsouth: 7.95%
- Telecsa: 0.3%

5.1.3 Probabilidad de Bloqueo o Grado de Servicio

Es la probabilidad de que no se pueda obtener un circuito cuando se necesita.

Un bloqueo puede ocurrir debido a los siguientes motivos:

- No hay canales suficientes.
- No hay señalización suficiente entre la estación base y la central.
- No hay señalización suficiente en el complejo de comunicación.

5.1.4 Probabilidad de Cobertura

Se define así a la probabilidad de cubrir las zonas geográficas donde se establecerá el servicio.

Para nuestro diseño se considera el 90% de probabilidad dentro del área de cobertura de la celda y el 75% de probabilidad en el límite de la celda

5.2 Dimensionamiento

El dimensionamiento se basa en una estimación de la cantidad de usuarios a los que se piensa brindar el servicio, de tal forma que la red pueda soportar el peor de los escenarios para el tráfico de dichos usuarios.

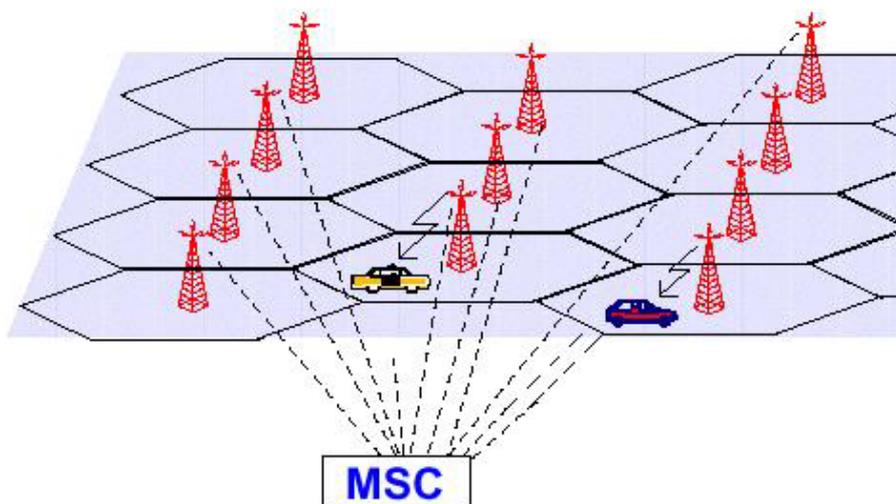


Figura 5. 5 Dimensionamiento del Sistema

5.2.1 Ingeniería de Tráfico

La Ingeniería de Tráfico se encarga de aprovisionar los requerimientos de comunicación en un área de servicio

determinada, para un número de abonados con un grado de servicio aceptable.

En primer lugar se deben determinar la cantidad de tráfico bloqueado, transportado, ofrecido y tráfico en hora pico.

El promedio de duración de una llamada para el diseño de nuestro sistema es aproximadamente 90 segundos.

5.2.1.1 Tráfico Transportado

El tráfico manejado por el sistema que ha sido realmente exitoso, se denomina tráfico transportado. Es el tiempo real que el tráfico ocupa el sistema durante un período de estudio.

Se calcula en base a las estadísticas de troncal y medidas operacionales.

5.2.1.2 Tráfico bloqueado

Para los Sistemas de Comunicación Móvil se permite un máximo de 2% de bloqueo como Tráfico bloqueado. Ver Tabla XI

Tabla XI: Probabilidad de Bloqueo

Servicio	Probabilidad Bloqueo
Voz	2%
CS64	5%
CS128	5%

5.2.1.3 Tráfico ofrecido

Trafico de los intentos de llamadas por parte de los usuarios.

$$T_{\text{ofrecido}} = T_{\text{transportado}} + T_{\text{bloqueado}}$$

5.2.1.4 Tráfico en hora pico

Se debe estimar el número máximo de requerimientos de comunicación en Guayaquil durante una hora. El número de llamadas en una red de Comunicación Móvil para la Ciudad de Guayaquil, de acuerdo a los datos proporcionados por las operadoras móviles locales, es de 30000 llamadas en hora pico.

Por lo tanto el Tráfico máximo total será:

$$T_{\text{Máximo total}} = \# \text{ llamadas Hora pico} * t_{\text{llamada promedio}} / 3600$$

$$T_{\text{Máximo total}} = 30000 * 90 / 3600$$

$$T_{\text{Máximo total}} = 750 \text{ Erlangs}$$

Como nuestro diseño corresponde a un sistema de comunicación personal (PCS), sabemos que el tráfico bloqueado será eliminado, es decir, es un sistema de pérdida. La Tabla XII muestra el número de troncales en base a los Erlangs con una P(0.2).

Tabla XII Tráfico de Erlang-B con P(0.2)

Troncal	Erlangs	Troncal	Erlangs	Troncal	Erlangs
1	0.0204	48	38.4	95	83.1
2	0.223	49	39.3	96	84.1
3	0.602	50	40.3	97	85.1
4	1.09	51	41.2	98	86
5	1.66	52	42.1	99	87
6	2.28	53	43.1	100	88
7	2.94	54	44	102	89.9
8	3.63	55	44.9	104	91.9
9	4.34	56	45.9	106	93.8
10	5.06	57	46.6	108	95.7
11	5.84	58	47.8	110	97.7
12	6.61	59	48.7	112	99.6
13	7.4	60	49.6	114	101.6
14	6.2	61	50.6	116	103.5
15	9.01	62	51.5	118	105.5
16	9.83	63	52.5	120	107.4
17	10.7	64	53.4	122	109.4
18	11.5	65	54.4	124	111.3
19	12.3	66	55.3	126	113.3
20	13.2	67	56.3	128	115.2
21	14	68	57.2	130	117.2
22	14.9	69	58.2	132	119.1
23	15.8	70	59.1	134	121.1
24	16.6	71	60.1	136	123.1

Troncal	Erlangs	Troncal	Erlangs	Troncal	Erlangs
25	17.5	72	61	138	125
26	18.4	73	62	140	127
27	19.3	74	62.9	142	128.9
28	20.2	75	63.9	144	130.9
29	21	76	64.9	146	132.9
30	21.9	77	65.8	148	134.8
31	22.8	78	66.8	150	136.8
32	23.7	79	67.7	152	138.8
33	24.6	80	68.7	154	140.7
34	25.5	81	69.6	156	142.7
35	26.4	82	70.6	158	144.7
36	27.3	83	71.6	160	146.6
37	28.3	84	72.5	162	148.6
38	29.2	85	73.5	164	150.6
39	30.1	86	74.5	166	152.6
40	31	87	75.4	168	154.5
41	31.9	88	76.4	170	156.5
42	32.8	89	77.3	172	158.5
43	33.8	90	78.3	174	160.4
44	34.7	91	79.3	176	162.4
45	35.6	92	80.2	178	164.4
46	36.5	93	81.2	180	166.4
47	37.5	94	82.2		

CAPÍTULO 6

Diseño de la Red Móvil empleando Espectro Ensanchado de Secuencia Directa

6.1 Planificación de Capacidad y Cobertura

6.1.1 Configuración de Celdas

Los tipos de celdas a usar en el Diseño serán sectorizadas para las áreas urbanas y suburbanas donde el radio de la celda dependerá en este caso de la Tecnología de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa.

Para cubrir el área geográfica de la ciudad de Guayaquil, se diseñan celdas con radios de 0,8 Km para las áreas urbanas densamente pobladas; y celdas con radio de 1 Km para las áreas urbanas de población media y suburbanas.

6.1.2 Determinación del número de Estaciones Base

Basándose en el cálculo de estaciones Bases de Sistemas de Comunicación Móviles implementados se ha descubierto

que el número real de celdas requeridas para proporcionar una cobertura y capacidad suficiente es de aproximadamente la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las celdas de cobertura y tráfico.

$$\# \text{ de celdas} \approx \sqrt{((\text{Cobertura})^2 + (\text{Tráfico})^2)}$$

Primero se determina las celdas requeridas en base a cobertura, que no es más que el área total del mercado, dividida entre la cobertura que se puede lograr con una sola estación base.

$$\begin{aligned} \# \text{ Estaciones Base Requeridas} &= \frac{\text{Area}(\text{Km}^2)}{\text{Area}_{\text{EstaciónBase}}(\text{Km}^2)} \\ &= 180 \text{ Km}^2 / 2,6 \text{ Km}^2 \\ &= 69,23 \end{aligned}$$

Luego se determina las celdas requeridas en base a tráfico, donde se toma el tráfico estimado en una zona durante la hora pico en Erlangs y eso se divide entre los Erlangs que puede manejar una sola celda que ocurra un bloqueo excesivo.

$$\begin{aligned} \# \text{ Celdas requeridas} &= \text{Erlangs Total} / \text{Erlangs por celda} \\ &= 750 / 17 \\ &= 44,11 \end{aligned}$$

Finalmente aplicando la fórmula para el número total de Estaciones Base obtenemos:

$$\begin{aligned} \# \text{ Estaciones Base Total} &= \left[(\text{cobertura})^2 + (\text{capacidad})^2 \right]^{0.5} \\ &= \left[(69,23)^2 + (44,11)^2 \right]^{0.5} \\ &= 82,08 \end{aligned}$$

Para obtener el promedio de Erlangs por celda se divide la cantidad total de Tráfico para el número de celdas, obteniendo:

$$\text{Erlangs totales} = 750$$

$$\text{Número de celdas} = 82,08$$

$$\text{Erlangs/celdas} = (750 / 82,08) = 9,14 \text{ Erlangs}$$

Con este valor podemos conocer el número de canales necesarios para cada celda obteniéndola de la Tabla XII de Erlangs para un grado de servicio P0.02 donde los canales para una celda con 9,14 Erlangs son 16.

Cuando la capacidad de una celda llegué al máximo se planeará desplegar una celda nueva.

Utilizaremos un Centro de Conmutación Móvil, el cual es más que suficiente para manejar el tráfico de la ciudad de

Guayaquil, y será ubicado cerca de la zona donde se genere mayor tráfico.

6.1.3 Penetración de la Señal por Zona

El porcentaje de penetración de la señal de RF por zona de influencia según su área de servicio se presenta en la siguiente tabla.

Tabla XIII Penetración de la señal de RF

Zona	Exteriores	Dentro del Vehículo	Dentro del Edificio
Urbana	90%	90%	75%
Suburbana	90%	90%	75%

6.1.4 Modelos de Pérdida en Edificios y Vehículos

La pérdida de penetración es la diferencia promedio entre la potencia de la señal al nivel de la calle y la potencia de la señal observada dentro de un edificio.

La difracción es el mecanismo principal de propagación dentro y hacia adentro del edificio, este sufre una pérdida adicional llamada pérdida por penetración con respecto al nivel de la señal en el exterior.

Los niveles de señal en el edificio son influenciados por muchas variables:

- El ángulo de incidencia de la señal desde el BTS del exterior.
- La geometría de las ventanas y otras entradas para RF para acoplar la RF en el edificio.
- Las características de absorción y reflexión de las paredes y superficies del edificio.

En la actualidad para modelar la cobertura dentro de edificios se hacen uso de técnicas estadísticas muy efectivas. La Tabla XIV muestra las pérdidas típicas de penetración comparadas al nivel de la calle.

Tabla XIV Pérdidas típicas de Penetración

Tipo de ambiente	Perdida Media, dB	Desviación estándar σ, dB
Edificio en área urbana densamente poblada	20	8
Edificio en área urbana de población media	15	8
Edificio en área suburbana	10	8
Vehículo común	8	4

6.2 Modelo de propagación

La predicción y el modelado de los canales de radiocomunicación son una de las partes más complicadas que intervienen en el diseño de sistemas de comunicación móvil, por lo general esta parte se hace de manera estadística, tomando como base mediciones realizadas en una zona específica y para un determinado sistema o parte del espectro.

Tabla XV Modelos de Propagación

Tipo de Zona	Modelos
<p style="text-align: center;">Zona urbana densamente poblada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propagación del canal entre edificios. • Las antenas sobre edificios (macro celdas) ocasionan difracciones múltiples sobre los edificios. • Las antenas por debajo de los edificios (micro celdas) ocasionan difracciones alrededor y reflejos sobre los edificios. 	<p>Walfisch-Ikegami COST 231 Hata Okumura-Hata</p>
<p style="text-align: center;">Zona urbana de población media</p> <p>Mezcla de alturas de edificios distintos y de espacios abiertos.</p>	<p>COST 231-Hata Okumura-Hata</p>
<p style="text-align: center;">Zona suburbana</p> <p>Áreas empresariales y residenciales, espacios abiertos, bosques.</p>	<p>COST 231- Hata Okumura-Hata</p>

Ecuación de pérdida de señalización:

$$A(db) = 46.3 + 33.9 \times \text{Log}(F) - 13.82 \times \text{Log}(H) + (44.9 - 6.55 + \text{Log}(H)) \times \text{Log}(D) + C$$

Donde:

A = Pérdida de señalización.

F = Frecuencia en MHz.

D = Distancia entre la estación base y la terminal en Km.

H = Altura efectiva de la antena de la estación base en metros

C = Factor de corrección de ambiente (ver tabla XVI)

Tabla XVI Factores de Corrección

Ambiente	Factor de Corrección
Urbano densamente poblado	-2dB
Urbano con población media	-5dB
Suburbano	-8dB

Los valores de la Tabla XVI son los coeficientes numéricos reales para el modelo COST 231 - Hata que se aplica comúnmente para los sistemas móviles.

6.3 Probabilidad de Servicio

La probabilidad de servicio es mejor cerca de la BTS y disminuye al incrementar la distancia desde la misma.

6.3.1 Disponibilidad del área

Tenemos dos objetivos básicos que alcanzar para construir la celda luego de haber realizado la Zonificación del área disponible:

- Proporcionar una señal RF a toda el área de cobertura planeada.
- Proveer de los canales voz suficiente para satisfacer el tráfico que generarán los usuarios que accedan al servicio.

6.3.2 Límite de las Celdas

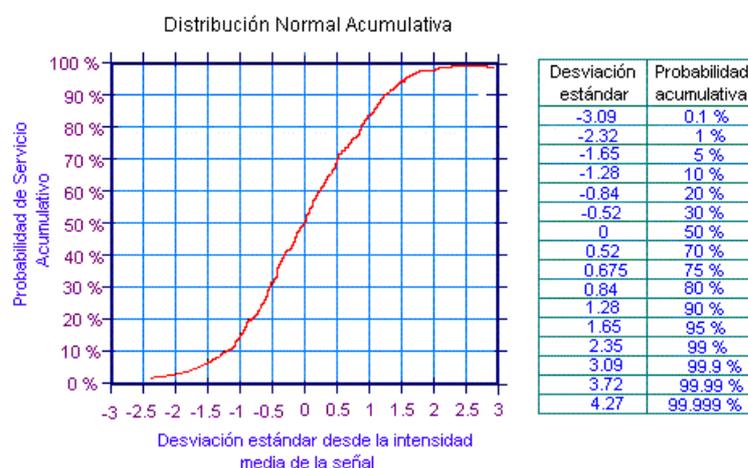
El modelo de área es el que nos permitirá predecir la intensidad de la señal en comparación con la distancia en un área de la celda. Esto es la "media" o la intensidad de señal más probable en cada distancia de la celda.

Es posible determinar la intensidad de la señal media M y la desviación estándar σ , ampliar la M y la σ para encontrar la probabilidad de recibir un nivel de señal apropiado a una distancia dada. Para predecir la media se utiliza un modelo estadístico, basado en la intensidad de la señal como función de la distancia.

Las intensidades de la señal medidas varían en un rango considerable sobre y por debajo de la intensidad de la señal predicha. Por lo tanto, se aplican estadísticas para ayudar a

calcular la probabilidad de que las señales que reciban las ubicaciones serán más o menos intensas de lo que predice el modelo.

El diseño de la celda es de tal manera que envíe al menos -95 dB hasta mínimo el 75% de las ubicaciones en el límite de la celda, es decir cubriendo el 90% de todas las ubicaciones dentro de la celda. Las variaciones de potencia de señal siguen una distribución estadística normal, por lo que podemos utilizar la curva de distribución normal acumulativa para encontrar el margen adicional de la intensidad de la señal necesaria para alcanzar el nivel de confianza deseada.



Fuente: Nortel curso 1000 Pg. 3 - 61

Figura 6. 1 Gráfica de Distribución Normal

Es decir, tal como podemos apreciar en la Figura 6.1 para dar servicio al 75% de las ubicaciones en el límite de la celda, debemos enviar una señal de intensidad media de $\sigma=0,67$ ó más potente que -95dbm según la tabla de distribución normal acumulativa.

Para usuarios dentro de un edificio, el nivel real de la señal incluye la señalización en el exterior más la pérdida de penetración en el edificio.

Tanto las pérdidas en el exterior como la de penetración tienen sus propias variables con sus propias desviaciones estándar.

La desviación estándar compuesta es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de los mecanismos de pérdida individual.

$$\sigma \text{ compuesta} = ((\sigma \text{ exterior})^2 + (\sigma \text{ penetración})^2)^{1/2}$$

Se realizaron pruebas de medición de intensidad de la señal en función de la distancia, con el equipo MLJ Wireless System Engineery Cell-20 Test Transmitter, obteniendo los niveles de Recepción para una Transmisión a una frecuencia

de 2412 Mhz que se observan en la figura 6.2, cumpliendo con la probabilidad de cobertura propuesta en el límite de la misma.

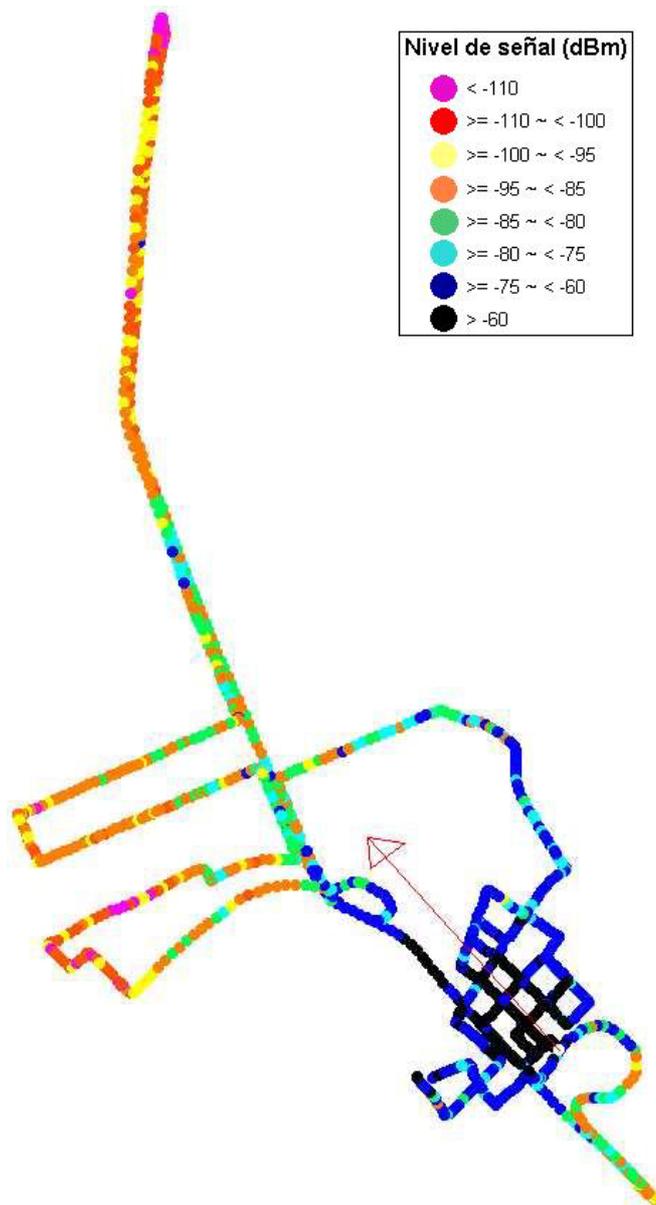


Figura 6. 2 Nivel de Señal para un Radiosector de la BTS en el sector de Urdesa Norte

6.4 Margen de Desvanecimiento

El Margen de desvanecimiento representa una provisión especial de señal excesiva utilizada en la Planeación para cubrir pérdidas anticipadas, tomando en cuenta la confiabilidad de cobertura deseada en un área expresada como "disponibilidad de área", es decir, el porcentaje de penetración.

El tamaño de este margen depende de:

- La desviación estándar compuesta.
- La probabilidad de servicio general deseado.

Para obtener el Margen de Desvanecimiento, se calcula primero la desviación estándar compuesta, después hacemos referencia a la distribución normal acumulativa para encontrar cuantas desviaciones estándar se necesitan para alcanzar la probabilidad de servicio general deseado del 75 % en el límite de la celda. Finalmente obtenemos el cálculo numérico en decibeles (dB) multiplicando estos dos factores.

A continuación se detalla la tabla del cálculo del Margen de desvanecimiento requeridos para los objetivos de disponibilidad de área.

Tabla XVII Probabilidad Compuesta de Servicio

Cálculo del Margen de Desvanecimiento			
Tipos de Zonas	Exterior	Compuesto Total	
	<i>Desviación Estándar (dB)</i>	<i>Objetivo de Disponibilidad de área (%)</i>	<i>Margen de Desvanecimiento (dB)</i>
Edificio Área Urbana Densamente Poblada	8	90% / 75%	7.6
Edificio Área Urbana Población Media	8	90% / 75%	7.6
Edificio Área Suburbana	8	90% / 75%	7.6
Vehículo Común	8	90% / 75%	6.0

6.5 Cálculo de Potencias de Transmisión

La potencia máxima de transmisión es la potencia máxima en vatios que entrega el transmisor en el conector de la antena en cualquier condición de modulación, la cual para sistemas de secuencia directa que operan en las bandas de 2.4GHz es de 1W.

Para determinar la salida de potencia adecuada para cada celda utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = S_{ms} - L_{\text{conector varios}} - L_{\text{línea de transmisión}} - L_{\text{penetración}} - G_{\text{antena}} - A_{dB} - \text{Margen}_{\text{Interferencia Rx}} - \text{Margen}_{\text{Desvanecimiento}}$$

Tabla XVIII Factores de la Potencia de Salida de una Celda

Factor	Representación
Sms	Sensibilidad de la recepción
$L_{\text{conector varios}}$	Pérdida de conectores varios
$L_{\text{línea de transmisión}}$	Pérdida en la Línea de Transmisión
$L_{\text{penetración}}$	Pérdida por penetración de la Señal
G_{antena}	Ganancia de la Antena
A_{dB}	Pérdidas por Propagación
Margen _{Interferencia Rx}	Pérdida por presencia de otros usuarios en el Sistema
Margen _{Desvanecimiento}	Tolerancia de Pérdida Adicional

Los cálculos de Potencia para cada uno de los tipos de áreas se presentan en la tabla XIX.

Tabla XIX Cálculo de Potencias

Ambiente	Urbano densamente poblado	Urbano población media	Suburbano
Sensibilidad de Recepción (dBm)	-113	-113	-113
Margen Interferencia en Receptor (dBm)	-3	-3	-3
Pérdidas Conector Varios (dBm)	-3	-3	-3
Pérdidas Línea de Transmisión (dBm)	-3	-3	-3
Ganancia Antena (dBm)	29	24	24
Pérdida Señalización (dBm)	-132,877	-129,877	-132,475
Margen Desvanecimiento (dBm)	-7,637	-7,637	-7,637
Pérdidas Penetración (dBm)	-20	-15	-10
Potencia (dBm)	27.51	24.51	22.11

6.5.1 Potencia Radiada Isotrópica Efectiva (PIRE)

La potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE) se define como una potencia de transmisión equivalente al un dipolo y se expresa matemáticamente como:

$$\text{PIRE} = P_{\text{entrada}} \times G \text{ Watts o}$$

$$\text{PIRE (dBm)} = 10 \text{ Log } (P/0.001) + 10 \log A$$

Donde:

P = potencia de entrada (watts)

G = ganancia de potencia de antena (sin unidades).

Tabla XX Cálculo del PIRE en Guayaquil

Tipo de Zona	Urbana Densamente Poblada	Urbana Población Media	Suburbana
Potencia (dBm)	27.51	24.51	22.11
Potencia (mW)	564.12	282.73	162.63
Potencia (W)	0.564	0.283	0.163
PIRE	16.359	6.785	3.903
PIRE (dBm)	42.14	38.32	35.91

6.5.2 Presupuesto de Enlace

Los presupuestos de enlaces nos permitirán rastrear los "gastos" de potencia a lo largo de toda la señal desde el transmisor hasta el receptor.

En todo diseño se deben elaborar dos presupuestos una para la señalización directa (BTS a MS) y otra para la señalización inversa (MS a BTS).

El presupuesto de enlaces considera la salida de potencia máxima del transmisor; según especificaciones del fabricante, y dentro de este presupuesto entra la ganancia de la antena y pérdidas en la línea de transmisión.

El nivel de señal extra que aún queda en el receptor después de que se ha considerado todas las ganancias y pérdidas se denomina "presupuesto de enlace" y esta cantidad de atenuación adicional puede ser tolerada.

El siguiente presupuesto de enlace rastrea la señalización directa desde el BTS al teléfono, considerando todos los factores de pérdidas involucrados en la transmisión de la BTS.

Tabla XXI Presupuesto de Enlace de señalización Directa

Factores	Determinado	Presupuesto	Fórmula
Potencia de Tx de BTS (dBm)	27.51 dBm		

Factores	Determinado	Presupuesto	Fórmula
BTS	0.56 w		
% de potencia para canales de tráfico	74 %		
Perdida de cable de BTS (dB)	-3 dB		A
Ganancia de antena Tx de BTS (dBi)	29 dBi		B
EIRP de BTS/canal de tráfico (dBm)		27.51 dBm	C
EIRP de BTS/Canal de tráfico (watts)		0.56 w	
Margen de desvanecimiento (dB)		-7.6 dB	D
Margen de interferencia del receptor (dB)		-3 dB	E
Perdida de penetración en edificios		-20 dB	F
Ganancia de antena de MS y pérdida de cuerpo (dB)		0 dB	G
Sensibilidad de Rx de MS (NF 10.5 dB, E_b/N_o 5 dB)		-113 dBm	H
Perdida de señalización directa (dB)		135,91 dB	A+B+C+D +E+F-G-H

Con los resultados de los cálculos arriba mostrados se asegura que cada canal de tráfico este utilizando de manera efectiva una parte del total de potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE) de la BTS.

El margen de desvanecimiento de -7.6 dB, nos permitirá explicar el inevitable exceso de pérdida de señalización que se obtenga con las estadísticas. Si no consideráramos este margen de desvanecimiento dentro del presupuesto de enlace podría representar nuestra media (la mitad de

nuestros usuarios obtendrían mejores resultados y la otra mitad, peores), por lo tanto al incluirlo dentro del presupuesto de enlace, podemos estar seguros de que se logrará la probabilidad específica de cobertura del área.

La sensibilidad de recepción de MS es la entrada mínima especificada que se requiere para tener el rendimiento especificado. Esto se basa en un MS que tiene un rendimiento de RF, más eficiente que la estación base, según se mostró con la cifra de ruido (NF) de 10.5 dB. El E_b/N_0 es de 5 dB, ya que en la señalización directa el número de elementos de interferencia y su conducta es mucho más moderado que en la señalización inversa.

La salida de la BTS dinámica real será más pequeña que la que se calculó en el presupuesto debido al efecto de handoff automático el cual realiza mejoras similares a los que podremos observar en la señalización inversa.

El equilibrio inicial de la señalización directa e inversa se logra utilizando instrumentos o pruebas guía cuando la celda es provisionada y se pone en servicio por primera vez.

El presupuesto de enlace de señalización inversa rastrea la señalización desde el teléfono hasta la BTS. La potencia máxima de la estación móvil es de 100 miliwatts es decir 0.1 watts o 20dBm.

Tabla XXII Presupuesto de un enlace de Señalización Inversa

Término o Factor	Determinado	Presupuesto	Fórmula
Potencia de Tx de MS (dBm)	20 dBm		
Potencia de Tx de MS (watts)	0.1 w		
Ganancia de antena de MS (dB)	0.0 dBi		
EIRP de MS (dBm)		20 dBm	A
EIRP de MS (watts)		0.1 w	
Margen de desvanecimiento (dB)		-7.6 dB	B
Ganancia de antena de MS y pérdida de cuerpo (dB)		4 dB	C
Margen de interferencia del receptor (dB)		-3 dB	D
Pérdida en penetración en edificios		-20 dB	E
Ganancia de antena Rx de BTS (dBi)		29 dB	F
Pérdida de cable de BTS (dB)		-3 dB	G
KTB (dBm/14.4 khz)	-132.4		H
Cantidad de ruido en BTS (dB)	6 dB		I
E_b/N_t (dB)	5 dB		J
Sensibilidad de Rx de BTS		-100 dB	H+I+J
Pérdida de señalización directa (dB)		140,8 dB	A+B+C+D+E+F+G-(H+I+J)

La ganancia de handoff automático es la mejor dinámica que obtenemos cuando el teléfono está siendo monitoreado por múltiples BTS cuando está cerca del límite de una celda. Los siguientes términos representan la base de ruido de interferencia:

- El KTB es ruido térmico en una banda ancha de señales 132.4 dBm/14.4 kHz, en ambiente. La cifra de ruido de la BTS es la degradación de la base de ruido provocada por el receptor del BTS; comúnmente 6 dB.
- E_b/N_t es la energía por bit para la densidad espectral de ruido de otros usuarios.
- La sensibilidad de recepción de la BTS es la entrada mínima especificada que se requiere.
- La pérdida de señalización inversa es la pérdida de señalización restante permisible disponible después de que todos los factores antes mencionados hayan sido pagados del presupuesto.

6.6 Proceso de Planeación del Sitio

Entre los componentes del proceso se consideran:

- Las predicciones y objetivos de tráfico
- Los objetivos de cobertura

- Los presupuestos de enlaces y
- Los resultados de las pruebas de manejo.

En la actualidad existen herramientas de propagación que nos facilitan la planificación de coberturas. Es decir la determinación de las ubicaciones y la configuración (potencia radiada y diagramas de antenas) de las estaciones de base que constituyen la red. Sin embargo, otro aspecto fundamental es la de la planificación de canales, que supone determinar el número de canales necesarios por estación de base (tanto de tráfico como de señalización), así como la asignación efectiva de los mismos.

Con el uso de tales herramientas, los ingenieros de diseño:

- Definirán y seleccionarán una cuadrícula de celdas.
- Identificarán la ubicación de los sitios en particular donde habrán de instalar las estaciones base y especificarán las antenas de cada sitio.
- Evaluarán la cobertura y modificar el sitio según se requiera
- Presentarán el sitio objetivo al equipo encargado para su adquisición.
- Evaluaran los sitios disponibles y documentaran la zonificación.

6.6.1 Ubicación de las Celdas

La ubicación ideal de las celdas en el Mapa de la Ciudad de Guayaquil se determinó en celdas hexagonales sectorizadas donde la distancia entre cada estación base fue determinada en base al tipo de zona y a los requisitos de capacidad y cobertura en cada una de las diferentes Zonas. En la figura 6.3 se puede apreciar el Mapa de la Ciudad de Guayaquil con la ubicación de cada una de las BTS calculadas para este diseño que se obtuvo con la ayuda de la Herramienta Mapinfo.

Al momento de seleccionar la ubicación de las celdas también se consideró que los lugares donde se establecerán las estaciones bases sean de fácil adquisición, zonificación, costo razonable y su construcción sea sencilla. La parte más importante en la construcción de la red es por lo general la zonificación y el proceso de obtención de permisos.

6.6.2 Consideraciones Prácticas en la Selección del sitio

La selección del sitio de las estaciones Bases además de considerar todos los parámetros anteriores, en la práctica debe prever lo siguiente:

La FCC exige a los operadores de sistema de comunicaciones móviles que construyen dentro de un radio de 3.21 Km de una estación emisora direccional de AM realizar cálculos para demostrar que el patrón de la estación AM no ha sido distorsionado por reradiación proveniente de la estructura de comunicación móvil, por lo tanto debemos:

1. Conocer las ubicaciones de estaciones AM antes de adquirir un sitio y evitar las redes direccionales de AM.
 - Una zona de 2 millas requiere, numerosas pruebas de rendimiento debido a la distorsión de patrones por las torres de estaciones bases.
 - Posibilidad de RFT a la estación base.
2. Evitar estaciones AM no direccionales
 - Posibilidad de RFI a la estación base.
3. Evitar colocar antenas para comunicaciones móviles en las cercanías del campo o dentro del radio de estaciones emisoras de alto poder UHF - TV, VHF -TV y FM.
4. Sitios predetectados cercanos a otras antenas con analizador de espectros.

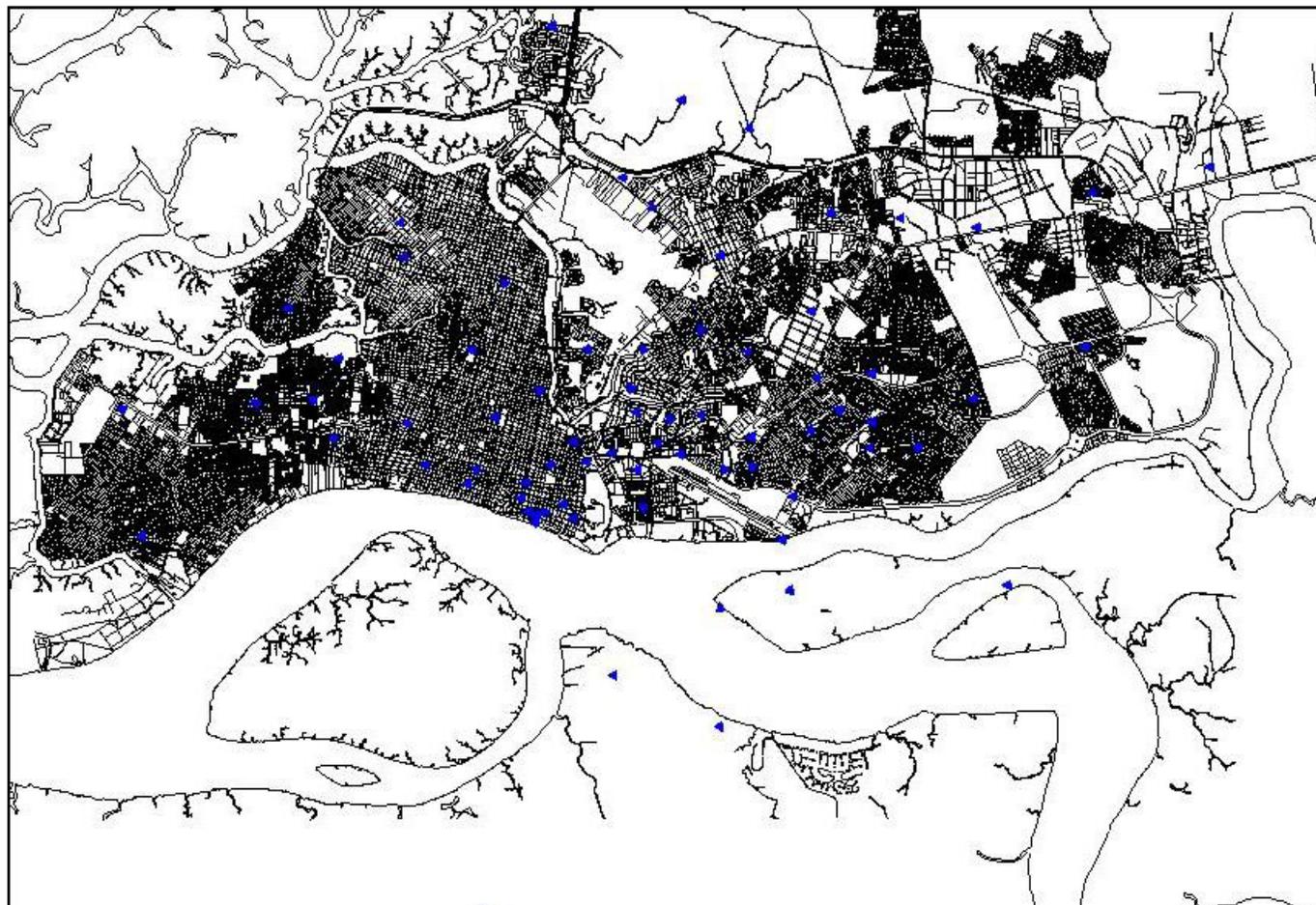


Figura 6. 3 Ubicación de las Celdas para la Red de Comunicación Móvil con Tecnología

Espectro Ensanchado de Secuencia Directa

6.7 Equipos

Al decidir que equipos de capa física utilizar, se obtuvieron las siguientes características de los equipos que operan con esta Tecnología de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa.

- El costo es más alto.
- Consumo de la energía más alta.
- Las velocidades de datos potenciales más altas de capa físicas individuales con respecto al salto de frecuencia.

Donde los equipos utilizados para las BTS operan en las siguientes frecuencias centrales permitidas y el nº de canal correspondiente regulado para nuestro país los cuales se muestran en la Tabla XXIII.

Tabla XXIII Asignación de Frecuencia para los Canales

Número de Canal	Frecuencia Asignada
1	2412 MHz
2	2417 MHz
3	2422 MHz
4	2427 MHz
5	2432 MHz
6	2437 MHz
7	2442 MHz
8	2447 MHz
9	2452 MHz
10	2457 MHz
11	2462 MHz
12	N/A

Las antenas para las Estaciones Bases son antenas sectorizadas de 90° marca Hyper Link, las cuales se muestran en la Figura 6.4.



Figura 6. 4 Antenas para BTS

Tabla XXIV Especificaciones Técnicas de las Antenas

Frecuencia	2400-2500 MHz
Ganancia	20 dBi
Ancho de Haz Horizontal	90 grados
Ancho de Haz Vertical	+/- 6.5°
Impedancia	50 Ohm
Potencia Máxima de Entrada	250 Watts
VSWR	< 1.3:1 promedio
Conector	N Hembra
Protección contra Rayos	Tierra Directa

Para los radio enlaces de cada una de las BTS se consideraron los Equipos MINI-LINK E de Ericsson.

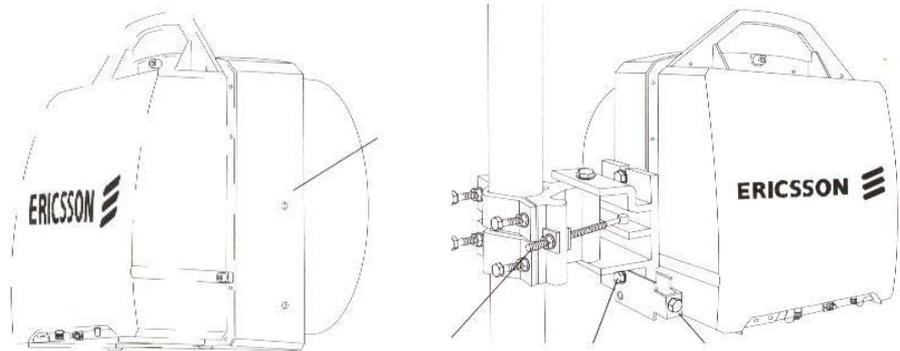


Figura 6. 5 Equipos de Radio Enlace MINI-LINK E

Las especificaciones técnicas de estos equipos para la selección de los parámetros de antenas, tal como diámetro, ganancia y frecuencia de transmisión se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XXV Parámetros de Antenas para Radio-Enlaces

	MINI-LIN 7-E	MINI-LIN 8-E	MINI-LIN 15-E	MINI-LIN 18-E	MINI-LIN 23-E	MINI-LIN 26-E	MINI-LIN 36-E
Antena de 0,3 m	-	-	-	32,7 dBi	34,0 dBi	35,5 dBi	38,7 dBi
Antena de 0,6 m	30,6 dBi	31,1 dBi	35,5 dBi	37,7 dBi	39,5 dBi	41,0 dBi	44,0 dBi
Antena de 1,2 m	36,4 dBi (36,6 dBi)*	36,6 dBi	42,5 dBi	44,6 dBi	46,1 dBi	46,9 dBi	-
Antena de 1,8 m	39,5 dBi (40,6 dBi)*	40,6 dBi	46	48	-	-	-
Antena de 2,4 m	42,5 dBi (42,9 dBi)*	42,9 dBi	-	-	-	-	-
Antena de 3,0 m	44,5 dBi (44,6 dBi)*	44,6 dBi	-	-	-	-	-
Interfaz	154 IEC- UBR 84	155 IEC- UBR 84	156 IEC- UBR 140	157 IEC- UBR 220	157 IEC- UBR 220	157 IEC- UBR 260	157 IEC- UBR 320

El desempeño técnico de los Radio Enlaces de los Equipos MINI-LINK E operando en la frecuencia de los 18Ghz se presenta en la siguiente tabla:

Tabla XXVI Sensibilidad de Recepción por Tasa de Tráfico

Tasa de Tráfico (Mbps)	Valor Típico de la Sensibilidad del Receptor (dBm)	
	BER 10 ⁻³	BER 10 ⁻⁶
2x2	-90	-86
4x2/8	-87	-83
2x8/8x2	-84	-80
34+2/17x2	-81	-77

Tabla XXVII Equipos de la Red Móvil DSSS

MSC
Central de Conmutación Móvil
Multiplexor
Router Corporativo
Microondas
Sistema de Climatización
Celdas de Radio =0.8 Km
Equipos de Radio DSSS
Módulo MTRM
Módulo MPAM
Módulo DPM
Módulo CEM
Módulo de Control
Microondas(radio enlace hacia la MSC)
Provisión e instalación de mástiles, torres y soportes de antenas
3 antenas Direccionales 90°
Torre Auto sostenida (altura promedio 40)(150\$ x mts)
Sistema de Climatización
Sistema Eléctrico(fuente, ups, cableado)

Celdas de Radio=1Km
Equipos de Radio DSSS
Módulo MTRM
Módulo MPAM
Módulo DPM
Módulo CEM
Módulo de Control
Microondas(radioenlace hacia la MSC)
Provisión e instalación de mástiles, torres y soportes de antenas
3 antenas Direccionales 90°
Torre Autosostenida(altura promedio 30)(150\$xmts)
Sistema de Climatización
Sistema Eléctrico(fuente, ups, cableado)
Software de Administración y Monitoreo
Terminales Móviles

6.7.1 Costos de los Equipos

En la siguiente tabla se detallan los diferentes costos de todos los equipos empleados en el diseño de Red, Estaciones Bases, Central de Conmutación, Equipos de Climatización y Equipos de Alimentación Eléctrica.

Tabla XXVIII Costos de los Equipos

Equipo	Cantidad	Precio	Costo
MSC			
Central de Conmutación Móvil	1	1500000	1500000
Multiplexor	2	3000	6000
Router Corporativo	2	10000	20000
Microondas	10	12000	120000
Sistema de Climatización	1	10000	10000
Celdas de Radio =0.8 Km			
Equipos de Radio DSSS		5000	
Módulo MTRM		1600	
Módulo MPAM		3000	

Módulo DPM		2700	
Módulo CEM		3000	
Módulo de Control		5000	
Microondas(radio enlace hacia la MSC)		3500	
Provisión e instalación de mástiles, torres y soportes de antenas			
3 antenas Direccionales 90°		900	
Torre Auto sostenida (altura promedio 40)(150\$ x mts)		6000	
Sistema de Climatización		5000	
Sistema Eléctrico(fuente, ups, cableado)		6000	
TOTAL	60	41700	2502000
Celdas de Radio=1Km			
Equipos de Radio DSSS		5000	
Módulo MTRM		1600	
Módulo MPAM		3000	
Módulo DPM		2700	
Módulo CEM		3000	
Módulo de Control		5000	
Microondas(radioenlace hacia la MSC)		3500	
Provisión e instalación de mástiles, torres y soportes de antenas			
3 antenas Direccionales 90°		900	
Torre Autosostenida(altura promedio 30)(150\$xmts)		4500	
Sistema de Climatización		5000	
Sistema Eléctrico(fuente, ups, cableado)		6000	
TOTAL	23	40200	924600
Software de Administración y Monitoreo	1	45000	45000
Terminales Móviles	10000	500	5000000
TOTAL			10127600

CAPÍTULO 7

Diseño de la Red Móvil empleando Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia

7.1 Planificación de Capacidad y Cobertura

7.1.1 Configuración de Celdas

En el Diseño de Red Móvil con Salto de Frecuencia se utilizarán también celdas sectorizadas para las áreas urbanas y suburbanas donde el radio de la celda dependerá en este caso de la Tecnología FHSS.

El área geográfica de la ciudad de Guayaquil, será cubierta con celdas de radios de 0,5 Km para las áreas urbanas densamente pobladas y de población media, y para las áreas suburbanas celdas con radio de 0,85 Km.

7.1.2 Determinación del número de Estaciones Base

Basándose en el cálculo de estaciones Bases de Sistemas de Comunicación Móviles implementados se ha descubierto que el

número real de celdas requeridas para proporcionar una cobertura y capacidad suficiente es de aproximadamente la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las celdas de cobertura y tráfico.

$$\# \text{ de celdas} \approx \sqrt{((\text{Cobertura})^2 + (\text{Tráfico})^2)}$$

Primero determinamos las celdas requeridas en base a cobertura, que no es más que el área total del mercado, dividida entre la cobertura que se puede lograr con una sola estación base. Para el diseño con Tecnología FHSS obtuvimos el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \# \text{ Estaciones Base Requeridas} &= \frac{\text{Area}(\text{Km}^2)}{\text{Area}_{\text{EstaciónBase}}(\text{Km}^2)} \\ &= 180 \text{ Km}^2 / 1,7 \text{ Km}^2 \\ &= 105,88 \end{aligned}$$

Luego se determina las celdas requeridas en base a tráfico, donde se toma el tráfico estimado en una zona durante la hora pico en Erlangs y eso se divide entre los Erlangs que puede manejar una sola celda que ocurra un bloqueo excesivo.

$$\begin{aligned}
 \# \text{ Celdas requeridas} &= \text{Erlangs Total} / \text{Erlangs por celda} \\
 &= 750 / 17 \\
 &= 44,11
 \end{aligned}$$

Finalmente aplicando la fórmula para el número total de Estaciones Base obtenemos:

$$\begin{aligned}
 \# \text{ Estaciones Base Total} &= [(\text{cobertura})^2 + (\text{capacidad})^2]^{0.5} \\
 &= [(105,88)^2 + (44,11)^2]^{0.5} \\
 &= 115
 \end{aligned}$$

Para obtener el promedio de Erlangs por celda se divide la cantidad total de Tráfico para el número de celdas, obteniendo:

$$\text{Erlangs totales} = 750$$

$$\text{Número de celdas} = 115$$

$$\text{Erlangs/celdas} = (750 / 115) = 6,52 \text{ Erlangs}$$

Con este valor podemos conocer el número de canales necesarios para cada celda obteniéndola de la Tabla XII de Erlangs para un grado de servicio P0.2 donde los canales para una celda con 6,52 Erlangs son 15.

Como podemos observar el número de celdas obtenidas para cubrir la Ciudad de Guayaquil con Tecnología de Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia es mayor al número de celdas obtenidas con Tecnología de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa.

De igual manera cuando la capacidad de la celda llegue al máximo se planificará desplegar una celda nueva; una Central de Conmutación Móvil manejará el tráfico de la ciudad de Guayaquil.

7.1.3 Penetración de la Señal por Zona

El porcentaje de penetración de la señal de RF por zona de influencia según su área de servicio en la Tecnología FHSS presenta un mayor porcentaje debido a que responde mejor ante ambientes de trayectorias múltiples tal como lo podemos apreciar en la siguiente Tabla XXIX.

Tabla XXIX Penetración de la Señal RF

Zona	Exteriores	Dentro del Vehículo	Dentro del Edificio
Urbana	90%	90%	85%
Suburbana	90%	90%	85%

7.1.4 Modelos de Pérdida en Edificios y Vehículos

La pérdida de penetración es la diferencia promedio entre la potencia de la señal al nivel de la calle y la potencia de la señal observada dentro de un edificio.

La difracción es el mecanismo principal de propagación dentro y hacia adentro del edificio, este sufre una pérdida adicional llamada pérdida por penetración con respecto al nivel de la señal en el exterior.

En la actualidad para modelar la cobertura dentro de edificios se hacen uso de técnicas estadísticas muy efectivas. La Tabla XXX muestra las pérdidas típicas de penetración comparadas a nivel de la calle.

Tabla XXX Pérdidas típicas de Penetración

Tipo de ambiente	Pérdida Media, dB	Desviación estándar σ , dB
Edificio en área urbana densamente poblada	10	5
Edificio en área urbana de población media	8	5
Edificio en área suburbana	5	5
Vehículo común	8	4

7.2 Modelo de propagación

La predicción y el modelado de los canales de radiocomunicación son una de las partes más complicadas que intervienen en el diseño de sistemas de comunicación móvil, por lo general esta parte se hace de manera estadística, tomando como base mediciones realizadas en una zona específica y para un determinado sistema o parte del espectro.

Tal como se vio en el capítulo 6, la Ecuación de pérdida de señalización es:

$$A(db) = 46.3 + 33.9 \times \text{Log}(F) - 13.82 \times \text{Log}(H) \\ + (44.9 - 6.55 + \text{Log}(H)) \times \text{Log}(D) + C$$

Al igual que en el Diseño empleando DSSS, se utilizará el modelo COST 231 – Hata que se aplica comúnmente para los sistemas móviles.

7.3 Probabilidad de Servicio

La probabilidad de servicio es mejor cerca de la BTS y disminuye al incrementar la distancia desde la misma

7.3.1 Disponibilidad del área

Al igual que el Diseño de la Red DSSS tenemos los mismos objetivos básicos que alcanzar para construir la celda luego de haber realizado la Zonificación del área disponible:

- Proporcionar una señal RF a toda el área de cobertura planeada.
- Proveer de los canales voz suficiente para satisfacer el tráfico que generarán los usuarios que accedan al servicio

7.3.2 Límite de las Celdas

El modelo de área nos permitirá predecir la intensidad de la señal en comparación con la distancia en un área. Esto es la "media" o la intensidad de señal más probable en cada distancia de la celda.

Es posible determinar la intensidad de la señal media M y la desviación estándar σ , y ampliar la M y la σ para encontrar la probabilidad de recibir un nivel de señal apropiado a una distancia dada.

Para predecir la media se utiliza un modelo estadísticos, basado en la intensidad de la señal como función de la

distancia. Las intensidades de la señal medidas varían en un rango considerable sobre y por debajo de la intensidad de la señal predecida. Por lo tanto, se aplican estadísticas para ayudar a calcular la probabilidad de que las señales que reciban las ubicaciones serán más o menos intensas de lo que predice el modelo.

El diseño de la celda permite que envíe al menos -95dB hasta mínimo el 75% de las ubicaciones en el límite de la celda, es decir cubriendo el 90% de todas las ubicaciones dentro de la celda. Las variaciones de potencia de señal siguen una distribución estadística normal, por lo que podemos utilizar la curva de distribución normal acumulativa para encontrar el margen adicional de la intensidad de la señal necesaria para alcanzar el nivel de confianza deseada. Es decir, para dar servicio al 75% de las ubicaciones en el límite de la celda, debemos enviar una señal de intensidad media de $\sigma=0,67$ ó más potente que -95dbm según la tabla de distribución normal acumulativa que se encuentra en el Capítulo 6.

Para usuarios dentro de un edificio, el nivel real de la señal incluye la señalización en el exterior más la pérdida de

penetración en el edificio. Tanto las pérdidas en el exterior como la de penetración tienen sus propias variables con sus propias desviaciones estándar.

La desviación estándar compuesta es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de los mecanismos de pérdida individual.

$$\sigma \text{ compuesta} = \sqrt{((\sigma \text{ exterior})^2 + (\sigma \text{ penetración})^2)}$$

7.4 Margen de Desvanecimiento

El Margen de desvanecimiento representa una provisión especial de señal excesiva que se utiliza en la planeación para cubrir pérdidas anticipadas, tomando en cuenta la confiabilidad de cobertura deseada en un área expresada como "disponibilidad de área", es decir, el porcentaje de penetración.

El tamaño de este margen depende de:

- La desviación estándar compuesta.
- La probabilidad de servicio general deseado.

Para obtener el Margen de Desvanecimiento, se calcula primero la desviación estándar compuesta, después hacemos referencia a la

distribución normal acumulativa para encontrar cuantas desviaciones estándar se necesitan para alcanzar la probabilidad de servicio general deseado del 75% en el límite de la celda. Finalmente obtenemos el cálculo numérico en dB multiplicando estos dos números.

A continuación se detalla la tabla del cálculo del Margen de desvanecimiento requeridos para los objetivos de disponibilidad de área.

Tabla XXXI Probabilidad Compuesta de Servicio

Cálculo del Margen de Desvanecimiento			
Tipos de Zonas	Exterior	Compuesto Total	
	<i>Desviación Estándar (dB)</i>	<i>Objetivo de Disponibilidad de área (%)</i>	<i>Margen de Desvanecimiento (dB)</i>
Edificio Área Urbana Densamente Poblada	8	90% / 75%	5.76
Edificio Área Urbana Población Media	8	90% / 75%	5.76
Edificio Área Suburbana	8	90% / 75%	5.76
Vehículo Común	8	90% / 75%	6.04

7.5 Cálculo de Potencias de Transmisión

La potencia máxima de transmisión es la potencia máxima en vatios que entrega el transmisor en el conector de la antena en cualquier condición de modulación, también para sistemas de Salto de Frecuencia que operan en las bandas de 2.4GHz es de 1W.

Para determinar la salida de potencia adecuada para cada celda utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = S_{ms} - L_{\text{conector varios}} - L_{\text{Línea de transmisión}} - L_{\text{penetración}} - G_{\text{antena}} - A_{dB} - \text{Margen}_{\text{Interferencia Rx}} - \text{Margen}_{\text{Desvanecimiento}}$$

Tabla XXXII Cálculo de Potencias

Ambiente	Urbano densamente poblado	Urbano población media	Suburbano
Sensibilidad de Recepción (dBm)	-113	-113	-113
Margen Interferencia en Receptor (dBm)	-1	-1	-1
Pérdidas Conector Varios (dBm)	-3	-3	-3
Pérdidas Línea de Transmisión (dBm)	-3	-3	-3
Ganancia Antena (dBm)	29	24	24
Pérdida Señalización (dBm)	-124,72	-121,72	-129,6
Margen Desvanecimiento (dBm)	-5,767	-5,767	-5,767

Ambiente	Urbano densamente poblado	Urbano población media	Suburbano
Pérdidas Penetración (dBm)	-10	-8	-5
Potencia (dBm)	5,49	5,49	10,43

7.5.1 Potencia Radiada Isotrópica Efectiva (PIRE)

La potencia radiada isotrópica efectiva (PIRE) se define como una potencia de transmisión equivalente al de, se expresa matemáticamente como:

$$\text{PIRE} = P_{\text{entrada}} \times G \text{ Watts o}$$

$$\text{PIRE (dBm)} = 10 \text{ Log}(P/0.001) + 10 \log A$$

Tabla XXXIII Cálculo del PIRE en Guayaquil

Tipo de Zona	Urbana Densamente Poblada	Urbana Población Media	Suburbana
Potencia (dBm)	5.49	5.49	10.43
Potencia (mW)	3.539	3.539	11.044
Potencia (W)	0.0035	0.0035	0.011
PIRE	0.102	0.0849	0.265
PIRE (dBm)	20.11	19.29	24.23

7.5.2 Presupuesto de Enlace

Los presupuestos de enlaces nos permitirán rastrear los "gastos" de potencia a lo largo de toda la señal desde el transmisor hasta el receptor.

En todo diseño se deben elaborar dos presupuestos una para la señalización directa (BTS a MS) y otra para la señalización inversa (MS a BTS).

El presupuesto de enlaces considera la salida de potencia máxima del transmisor; según lo especifica el fabricante, las ganancias de la antena y pérdidas de la línea de transmisión, etc. entran dentro del presupuesto.

El nivel de señal extra que aún queda en el receptor después de que se considerado todas las ganancias y pérdidas se denomina "presupuesto de enlace" y esta cantidad de atenuación adicional puede ser tolerada.

Este presupuesto de enlace rastrea la señalización directa desde el BTS al teléfono.

La pérdida de línea de transmisión entre el equipo de la BTS y la antena es de 3dB.

La ganancia de la antena de la BTS es de 17dBi en comparación con un radiador Isotrópico.

Tabla XXXIV Presupuesto de Enlace de señalización Directa

Factores	Determinado	Presupuesto	Fórmula
Potencia de Tx de BTS (dBm)	10.43 dBm		
BTS	0.011 w		
% de potencia para canales de tráfico	74 %		
Perdida de cable de BTS (dB)	-3 dB		A
Ganancia de antena Tx de BTS (dBi)	24 dBi		B
EIRP de BTS/canal de tráfico (dBm)		10.43 dBm	C
EIRP de BTS/Canal de tráfico (watts)		0.011 w	
Margen de desvanecimiento (dB)		-5.76 dB	D
Margen de interferencia del receptor (dB)		-1 dB	E
Perdida de penetración en edificios		-10 dB	F
Ganancia de antena de MS y pérdida de cuerpo (dB)		0 dB	G
Sensibilidad de Rx de MS (NF 10.5 dB, E_b/N_o 5 dB)		-113 dBm	H
Perdida de señalización directa (dB)		127.67 dB	A+B+C+D +E+F-G-H

Es decir cada canal de tráfico esta utilizando de manera efectiva una parte del total de potencia radiada isotrópica efectiva (PIRE) de la BTS.

El margen de desvanecimiento de -5.76 dB, representa la tolerancia de pérdida adicional reservada para explicar el inevitable exceso de pérdida de señalización que se obtiene con las estadísticas.

Al no considerar un margen de desvanecimiento dentro del presupuesto de enlace podría representar nuestra media (la mitad de nuestros usuarios obtendrían mejores resultados y la otra mitad, peores).

Al incluir el margen de desvanecimiento en el presupuesto de enlace, podemos estar seguros de que se logrará la probabilidad específica de cobertura del área.

La sensibilidad de recepción de MS es la entrada mínima especificada que se requiere para tener el rendimiento especificado. Esto se basa en un MS que tiene un rendimiento de RF, más eficiente que la estación base, según se mostró con la cifra de ruido (NF) de 10.5 dB. El E_b/N_0 es de 5 dB, ya que en la señalización directa el número de elementos de interferencia y su conducta es mucho más moderado que en la señalización inversa.

El equilibrio inicial de la señalización directa e inversa se logra utilizando instrumentos o pruebas guía cuando la celda es provisionada y se pone en servicio por primera vez.

Este presupuesto de enlace rastrea la señalización inversa, desde el teléfono hasta la BTS. La potencia máxima de la estación móvil es de 100 miliwatts es decir 0.1 watts o 20 dBm.

Tabla XXXV Presupuesto de un enlace de Señalización Inversa

Término o Factor	Determinado	Presupuesto	Fórmula
Potencia de Tx de MS (dBm)	20 dBm		
Potencia de Tx de MS (watts)	0.1 w		
Ganancia de antena de MS (dBi)	0.0 dBi		
EIRP de MS (dBm)		20 dBm	A
EIRP de MS (watts)		0.1 w	
Margen de desvanecimiento (dB)		-5.76 dB	B
Ganancia de antena de MS y pérdida de cuerpo (dB)		4 dB	C
Margen de interferencia del receptor (dB)		-1 dB	D
Pérdida en penetración en edificios		-10 dB	E
Ganancia de antena Rx de BTS (dBi)		24 dB	F
Pérdida de cable de BTS (dB)		-3 dB	G
KTB (dBm/14.4 khz)	-132.4		H
Cantidad de ruido en BTS (dB)	8 dB		I
E_b/N_t (dB)	5 dB		J
Sensibilidad de Rx de BTS		-100 dB	H+I+J
Pérdida de señalización directa (dB)		147.64 dB	A+B+C+D+E+F+G-(H+I+J)

7.6 Proceso de Planeación del Sitio

Entre los componentes del proceso se consideran:

- Los presupuestos de enlaces
- Los objetivos de cobertura
- Las predicciones y objetivos de tráfico y
- Los resultados de las pruebas de manejo.

En la actualidad las herramientas de propagación nos permiten incluir bases de datos detalladas sobre el área, modelos de propagación y algoritmos para el cálculo de pérdida de señalización.

Con el uso de la herramienta, los ingenieros de diseño:

- Definirán y seleccionarán una cuadrícula de celdas.
- Identificarán la ubicación de los sitios en particular donde habrán de instalar las estaciones base y especificarán las antenas ERP de cada sitio.
- Evaluarán la cobertura y modificar el sitio según se requiera
- Desarrollarán un plan de frecuencia, lo probarán para verificar la C/I y lo refinarán según sea necesario.
- Presentar el sitio objetivo al equipo encargado para su adquisición.
- Evaluaran los sitios disponibles y documentando la zonificación.

Selección de otros sitios posibles en caso de que los sitios planeados no se puedan obtener y así evitar que el proceso se detenga.

7.6.1 Ubicación de las Celdas

La ubicación de la celdas en el Mapa de la Ciudad de Guayaquil se determinó en celdas hexagonales sectorizadas donde la distancia entre cada estaciones base fue determinada en base al tipo de zona y a los requisitos de capacidad y cobertura en cada una de las diferentes Zonas. En la figura 7.1 se puede apreciar el Mapa de la Ciudad de Guayaquil con la ubicación de cada una de las BTS calculadas para este diseño que se obtuvo con la ayuda de la Herramienta Mapinfo.

Al momento de seleccionar la ubicación de las celdas también se consideró que los lugares donde se establecerán las estaciones bases sean de fácil adquisición, zonificación, costo razonable y su construcción sea sencilla. La parte más importante en la construcción de la red es por lo general la zonificación y el proceso de obtención de permisos.

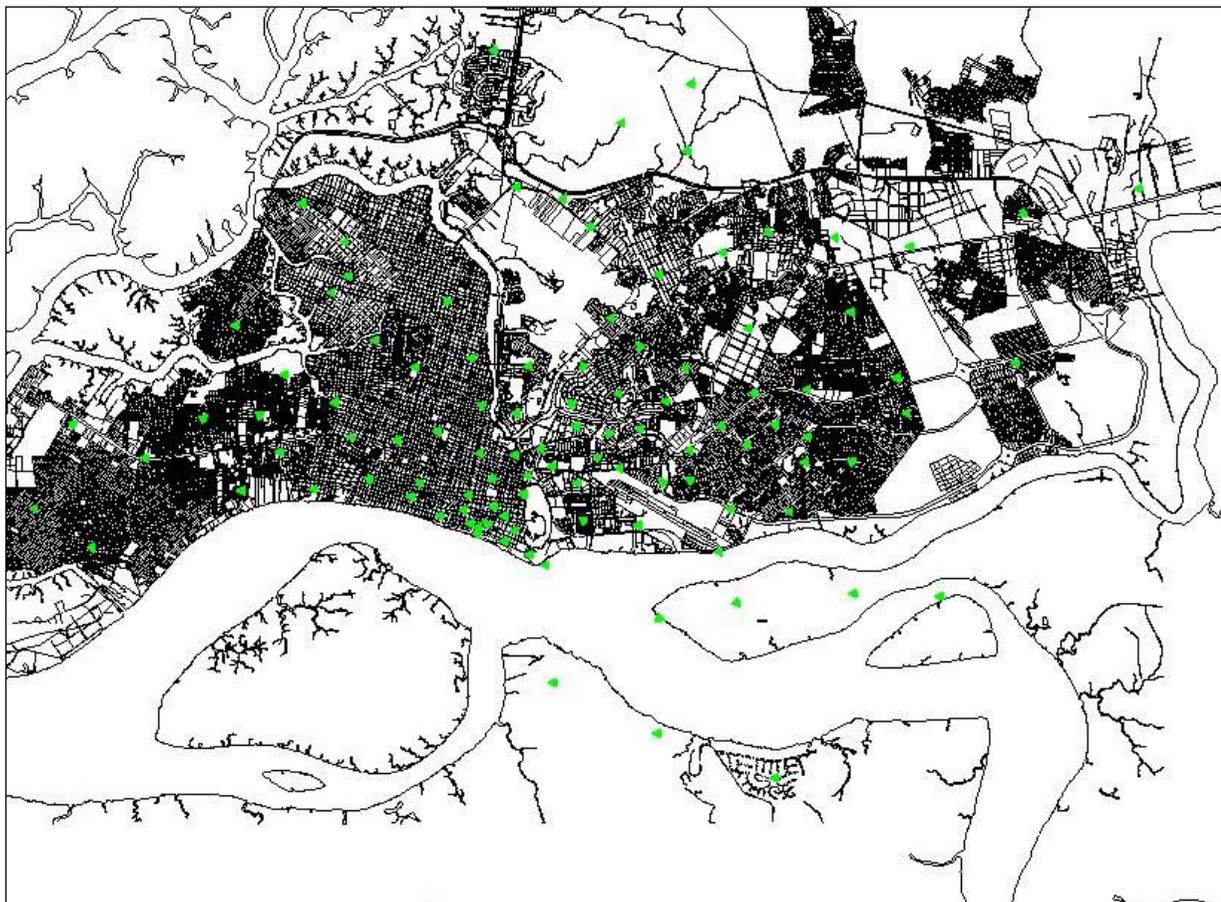


Figura 7. 1 Ubicación de las Celdas para la Red de Comunicación Móvil con Tecnología Espectro

Ensanchado de Salto de Frecuencia

7.6.2 Consideraciones Prácticas en la Selección del sitio

La selección del sitio de las estaciones Bases además de considerar todos los parámetros anteriores, en la práctica debe prever lo siguiente:

La FCC exige a los operadores de sistema de comunicaciones móviles que construyen dentro de un radio de 3.21 Km de una estación emisora direccional de AM realizar cálculos para demostrar que el patrón de la estación AM no ha sido distorsionado por reradiación proveniente de la estructura de comunicación móvil, por lo tanto debemos:

1. Conocer las ubicaciones de estaciones AM antes de adquirir un sitio y evitar las redes direccionales de AM.
 - Una zona de 2 millas requiere, numerosas pruebas de rendimiento debido a la distorsión de patrones por las torres de estaciones bases.
 - Posibilidad de RFT a la estación base.
2. Evitar estaciones AM no direccionales
 - Posibilidad de RFI a la estación base.
3. Evitar colocar antenas para comunicaciones móviles en las cercanías del campo o dentro del radio de

estaciones emisoras de alto poder UHF - TV, VHF -TV y FM.

4. Sitios predetectados cercanos a otras antenas con analizador de espectros.

7.7 Equipos Utilizados en el Diseño

Al decidir que equipos de capa física utilizar, se obtuvieron las siguientes características de los equipos que operan con esta Tecnología de Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia.

- Mas bajo costo
- Consumo de Energía Bajo
- La mayoría tolerante a Interferencia de la señal.
- La velocidad de datos más baja.

Dado que FHSS divide la Banda de 2.4 GHz en 75 canales de 1MHz. Los Transmisores y Receptores saltarán rápidamente alrededor de estos canales, donde los equipos operarán en las frecuencias centrales permitidas y los canales regulados para nuestro país.

Tabla XXXVI Asignación de Frecuencias para los Canales

Canal	Frecuencia	Canal	Frecuencia	Canal	Frecuencia
2	2.402	28	2.428	54	2.454
3	2.403	29	2.429	55	2.455
4	2.404	30	2.430	56	2.456
5	2.405	31	2.431	57	2.457

Canal	Frecuencia	Canal	Frecuencia	Canal	Frecuencia
6	2.406	32	2.432	58	2.458
7	2.407	33	2.433	59	2.459
8	2.408	34	2.434	60	2.460
9	2.409	35	2.435	61	2.461
10	2.410	36	2.436	62	2.462
11	2.411	37	2.437	63	2.463
12	2.412	38	2.438	64	2.464
13	2.413	39	2.439	65	2.465
14	2.414	40	2.440	66	2.466
15	2.415	41	2.441	67	2.467
16	2.416	42	2.442	68	2.468
17	2.417	43	2.443	69	2.469
18	2.418	44	2.444	70	2.470
19	2.419	45	2.445	71	2.471
20	2.420	46	2.446	72	2.472
21	2.421	47	2.447	73	2.473
22	2.422	48	2.448	74	2.474
23	2.423	49	2.449	75	2.475
24	2.424	50	2.450	76	2.476
25	2.425	51	2.451	77	2.477
26	2.426	52	2.452	78	2.478
27	2.427	53	2.453	79	2.479
				80	2.480

Las antenas para las Estaciones Bases son antenas sectorizadas de 90° marca Hyper Link, iguales a las descritas en el Capítulo 6.

Así mismo para los radio enlaces de las BTS que trabajan con tecnología FHSS, se hará uso de los equipos MINI – LINK E para proveer la comunicación entre cada BTS y el Centro de Conmutación Móvil, donde la selección se realizó mediante el uso de la siguiente tabla y con la consideración que en radio

enlaces de mayor distancia debe usarse una frecuencia de transmisión menor.



Figura 7. 2 Equipos de Radio Enlace MINI – LINK E

Las especificaciones técnicas de estos equipos para la selección de los parámetros de antenas, tal como diámetro, ganancia y frecuencia de transmisión se presentan en la Tabla XXV.

Donde el desempeño técnico de los radios- enlaces operando a la frecuencia de 15 Ghz de los Equipos MINI-LINK E se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XXXVII Sensibilidad de Recepción por Tasa de Tráfico

Tasa de Tráfico (Mbps)	Valor Típico de la Sensibilidad del Receptor (dBm)	
	BER 10 ⁻³	BER 10 ⁻⁶
2x2	-91	-87

4x2/8	-88	-84
2x8/8x2	-85	-81
34+2/17x2	-82	-78

Tabla XXXVIII Equipos de la Red Móvil FHSS

MSC
Central de Conmutación Móvil
Multiplexor
Router Corporativo
Microondas
Sistema de Climatización
Celdas de Radio =0.8 Km
Equipos de Radio FHSS
Módulo MTRM
Módulo MPAM
Módulo DPM
Módulo CEM
Módulo de Control
Microondas(radio enlace hacia la MSC)
Provisión e instalación de mástiles, torres y soportes de antenas
3 antenas Direccionales 90°
Torre Auto sostenida (altura promedio 40)(150\$ x mts)
Sistema de Climatización
Sistema Eléctrico(fuente, ups, cableado)
Celdas de Radio=1Km
Equipos de Radio FHSS
Módulo MTRM
Módulo MPAM
Módulo DPM
Módulo CEM
Módulo de Control
Microondas(radioenlace hacia la MSC)
Provisión e instalación de mástiles, torres y soportes de antenas
3 antenas Direccionales 90°
Torre Autosostenida(altura promedio 30)(150\$xmts)
Sistema de Climatización

Sistema Eléctrico(fuente, ups, cableado)
Software de Administración y Monitoreo
Terminales Móviles

7.7.1 Costos de los Equipos

En la siguiente tabla se detallan los diferentes costos de los equipos empleados en el diseño de las Estaciones Bases y de la Central de Conmutación, Equipos de Climatización y de Alimentación Eléctrica.

Tabla XXXIX Costos de los Equipos

Equipo	Cantidad	Precio	Costo
MSC			
Central de Conmutación Móvil	1	1500000	3000000
Multiplexor	2	3000	6000
Router Corporativo	2	10000	20000
Microondas	10	12000	120000
Sistema de Climatización	1	10000	10000
Celdas de Radio =0.8 Km			
Equipos de Radio FHSS		3000	
Módulo MTRM		1600	
Módulo MPAM		3000	
Módulo DPM		2700	
Módulo CEM		3000	
Módulo de Control		5000	
Microondas(radio enlace hacia la MSC)		3500	
Provisión e instalación de mástiles, torres y soportes de antenas			
3 antenas Direccionales 90°		900	
Torre Auto sostenida (altura promedio 40)(150\$ x mts)		6000	
Sistema de Climatización		5000	
Sistema Eléctrico(fuente, ups, cableado)		6000	

TOTAL	80	39700	3176000
Celdas de Radio=1Km			
Equipos de Radio DSSS		3000	
Módulo MTRM		1600	
Módulo MPAM		3000	
Módulo DPM		2700	
Módulo CEM		3000	
Módulo de Control		5000	
Microondas(radioenlace hacia la MSC)		3500	
Provisión e instalación de mástiles, torres y soportes de antenas			
3 antenas Direccionales 90°		900	
Torre Autosostenida(altura promedio 30)(150\$xmts)		4500	
Sistema de Climatización		5000	
Sistema Eléctrico(fuente, ups, cableado)		6000	
TOTAL	35	38200	1337000
Software de Administración y Monitoreo	1	45000	45000
Terminales Móviles	10000	500	5000000
TOTAL			11214000

CAPÍTULO 8

8. Simulaciones de Espectro Ensanchado en Matlab

8.1. Introducción

Se efectuaron simulaciones de Espectro Ensanchado en sus principales modalidades, Secuencia Directa y Salto de Frecuencia, empleando la herramienta SIMULINK del software de Simulación MATLAB, para poder apreciar como operan estos Sistemas y observar su desempeño en diferentes ambientes.

Se empezó con el Sistema Ideal para explicar como operan las modalidades antes mencionadas, mediante los gráficos obtenidos en el tiempo y en la frecuencia. A este diagrama de bloques simple, se le fue agregando dos de los factores externos que están presentes en un Sistema de Comunicaciones: Ruido Blanco e Interferencia de otros Sistemas, lo cual dio como resulta un Sistema de Espectro Ensanchado Complejo a través del cual se pudo apreciar el desempeño de ambas modalidades.

Con los resultados de los diferentes sistemas simulados finalmente se realiza una comparación entre DSSS y FHSS.

8.2. Espectro Ensanchado de Secuencia Directa

Para estas simulaciones se empleó: un generador de datos binarios Bernoulli para la entrada con una frecuencia de 1MHz ($F_s=1\text{MHz}$), un generador de códigos WALSH de 64 bits ($N_c=64$) para la secuencia pseudo-aleatoria y modulación BPSK.

8.2.1. Simulación en Caso Ideal

En la modulación DSSS, la fase de Expansión puede darse antes o después de la modulación, dependiendo del tipo de señales que se estén empleando, por lo cual se procederá a analizar ambos casos.

En la figura 8.1 se puede apreciar el diagrama de Bloque de un Sistema DSSS Ideal que realiza la expansión antes de la modulación. En este caso se procede a multiplicar la señal de datos no modulada con una secuencia PN Unipolar, obteniendo la Señal DSSS que se observa en las figuras 8.2 y 8.3. Esta señal tiene la toda información de los datos de entrada y la frecuencia de la secuencia PN, la cual es mayor que la frecuencia de la señal de datos original (para esta simulación $T_s/T_c=4$), es decir, se encuentra ensanchada en la frecuencia. Luego se procede a modular esta señal en

Banda Base y se emplea un bloque denominado “Up Converter” para convertir esta señal a Pasa Banda.

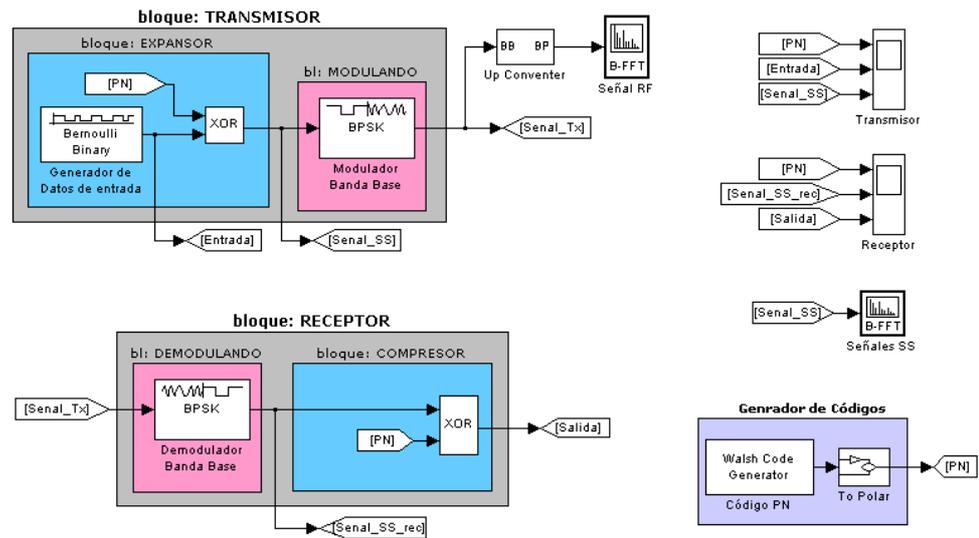


Figura 8. 1 Diagrama de Bloques del Sistema DSSS Ideal con Expansión previa a la Modulación

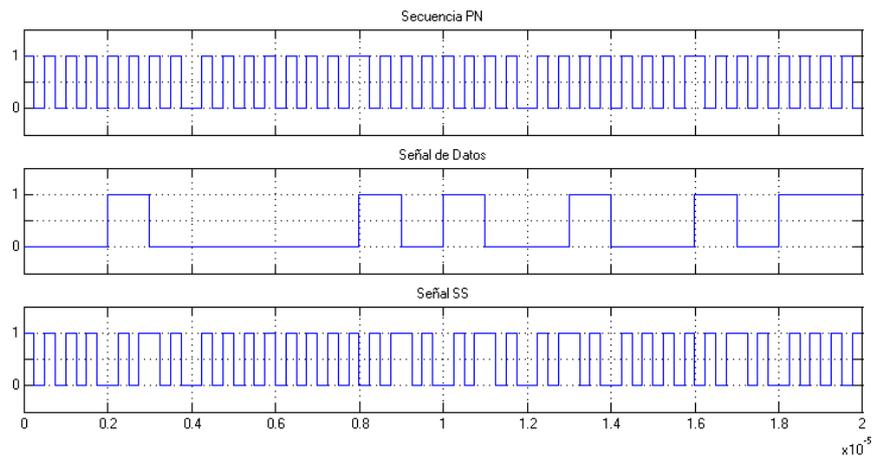


Figura 8. 2 Señales en el Tiempo del Bloque Transmisor de un Sistema DSSS ideal con Expansión previa a la Modulación

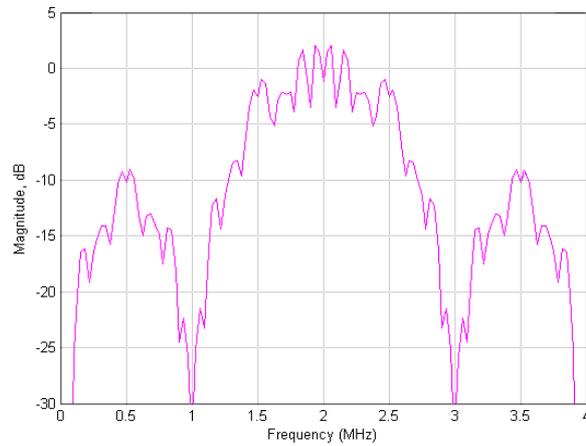


Figura 8. 3 Señal SS en la Frecuencia de un Sistema DSSS ideal con Expansión previa a la Modulación

En el receptor se demodula la señal recibida y luego se la comprime multiplicándola por la secuencia pseudo-aleatoria del receptor que es idéntica a la del transmisor. Ver figura 8.4.

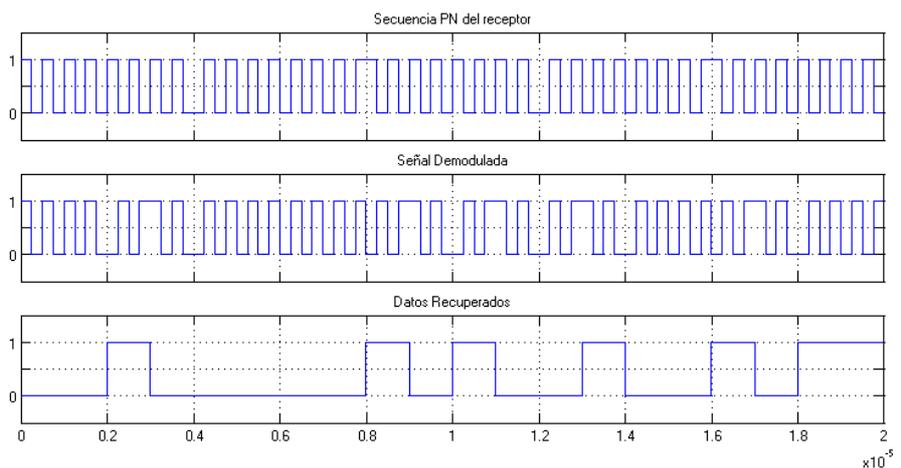


Figura 8. 4 Señales en el Tiempo del Bloque Receptor de un Sistema DSSS ideal con Expansión previa a la Modulación

En la figura 8.5 se puede apreciar el diagrama de Bloque de un Sistema que realiza la expansión después de la modulación. En este caso se procede a multiplicar la señal de datos previamente modulada con una secuencia PN Bipolar, obteniendo la Señal DSSS que se observa en las figuras 8.6 y 8.7, la cual tiene las mismas características que la obtenida por el método descrito anteriormente. Esto nos permite comprobar que ambos métodos son válidos para obtener señales de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa. Al igual que en el método anterior, esta señal ingresa al bloque denominado “Up Converter” para convertirla en Pasa Banda.

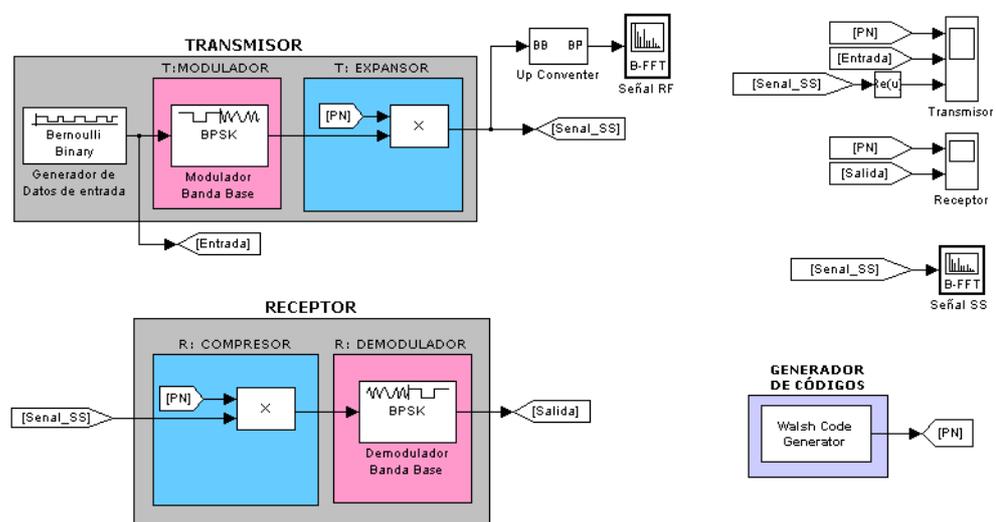


Figura 8. 5 Diagrama de Bloques del Sistema DSSS Ideal con Expansión posterior a la Modulación

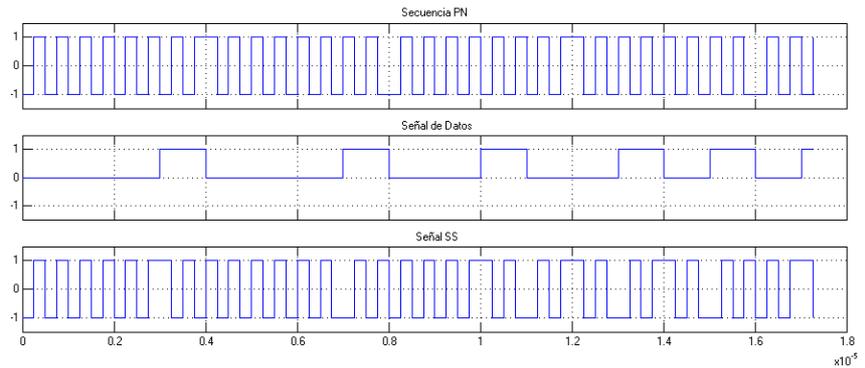


Figura 8. 6 Señales en el Tiempo del Bloque Transmisor de un Sistema DSSS ideal con Expansión posterior a la Modulación

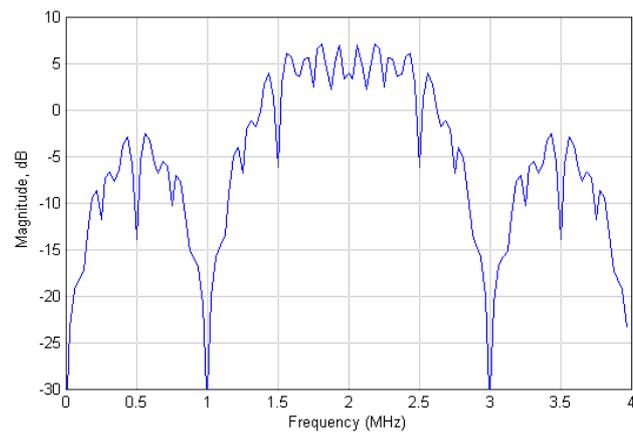


Figura 8. 7 Señal SS en la Frecuencia de un Sistema DSSS ideal con Expansión posterior a la Modulación

En el receptor se comprime la señal de igual manera que en el método anteriormente descrito y luego se procede a demodular la señal resultante, de esta forma se obtiene la señal de datos. Ver figura 8.8.

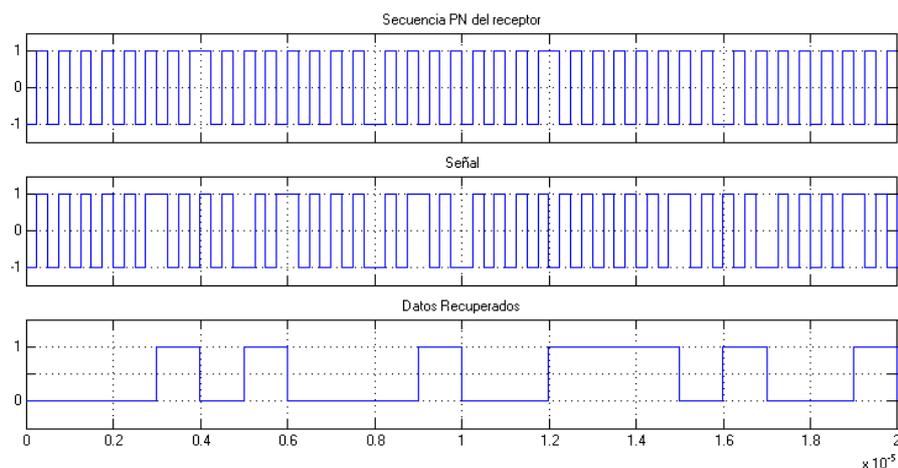


Figura 8. 8 Señales en el Tiempo del Bloque Receptor de un Sistema DSSS ideal con Expansión posterior a la Modulación

8.2.2. Simulación con presencia de Ruido Blanco

Para esta simulación se empleo un Sistema DSSS con Expansión posterior a la Modulación, similar al descrito anteriormente pero se le introdujo canal de Ruido Blanco Gaussiano y se variaron los valores del E_b/N_0 y de la frecuencia de la secuencia pseudo-aleatoria. En la figura 8.9 se puede apreciar el diagrama de bloque correspondiente.

En la figura 8.10 podemos observar la relación BER vs E_b/N_0 para este Sistema DSSS con secuencia pseudo-aleatoria de 4MHz. Observamos que para el rango de E_b/N_0 entre 5dB y 7dB, el cual es de nuestro interés para la aplicación de este

sistema, las respuestas son inferiores a 10^{-2} , es decir, se presenta un error en más de 100 datos enviados.

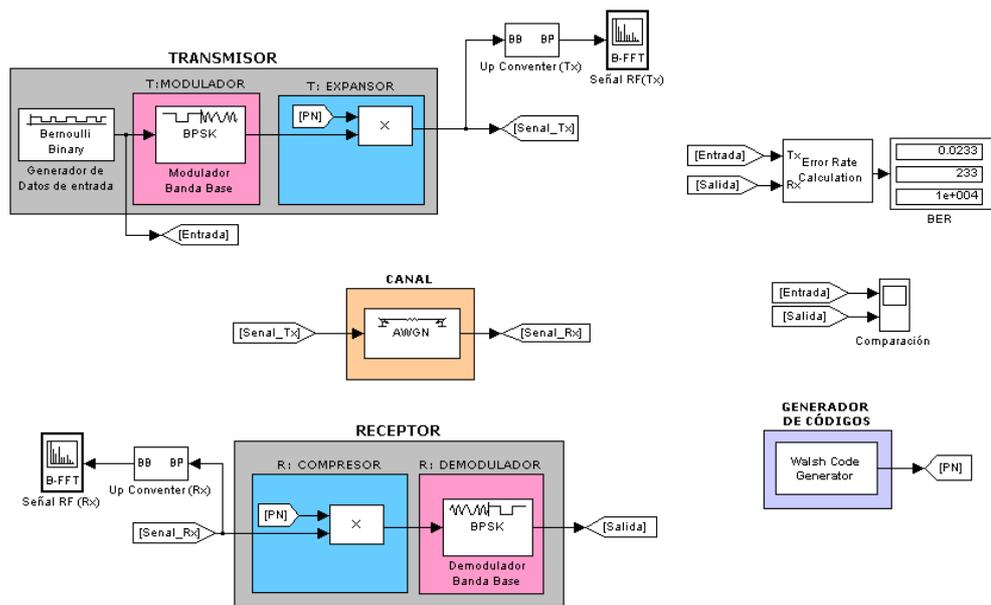


Figura 8. 9 Diagrama de Bloques del Sistema DSSS con Ruido Blanco y Expansión posterior a la Modulación

Por otro lado en la figura 8.11 podemos apreciar la comparación entre los datos enviados y los datos recuperados con este Sistemas DSSS con E_b/N_0 de 3dB y secuencia pseudo-aleatoria de 4MHz. Vemos que las señales son casi iguales, la señal recuperada presenta un pequeño pico de 250ns, tiempo correspondiente al periodo de la secuencia pseudo-aleatoria.

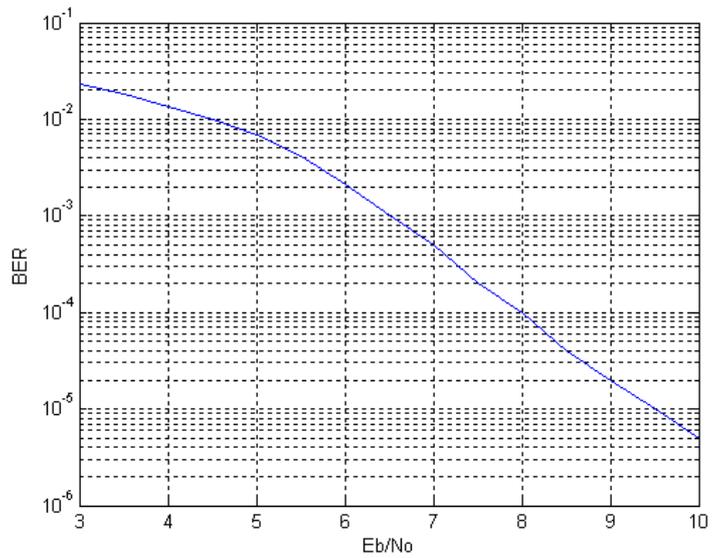


Figura 8. 10 BER vs E_b/N_0 del Sistema DSSS con Ruido Blanco y Expansión posterior a la Modulación

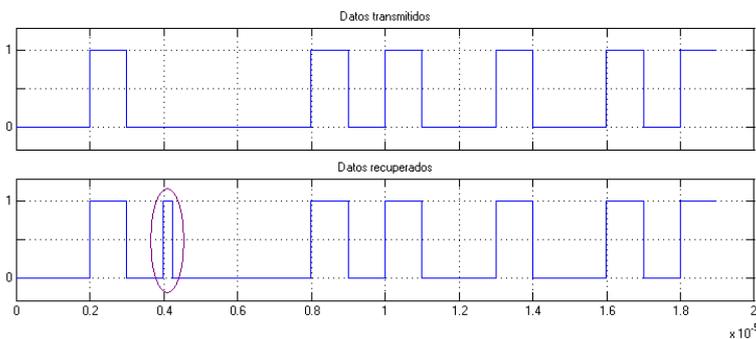


Figura 8. 11 Comparación entre Datos Enviados y Datos Recuperados en un Sistema DSSS con Ruido Blanco

8.2.3. Simulación con Interferencia

Para esta simulación se empleó el Sistema DSSS con expansión posterior a la modulación, Ruido Blanco Gaussiano

de $E_b/N_0=3\text{dB}$ y secuencia pseudo-aleatoria de 4MHz; pero se le agregó señales provenientes de otros Sistemas DSSS como interferencia. En la figura 8.12 podemos observar el Diagrama de Bloques de este Sistema DSSS Completo.

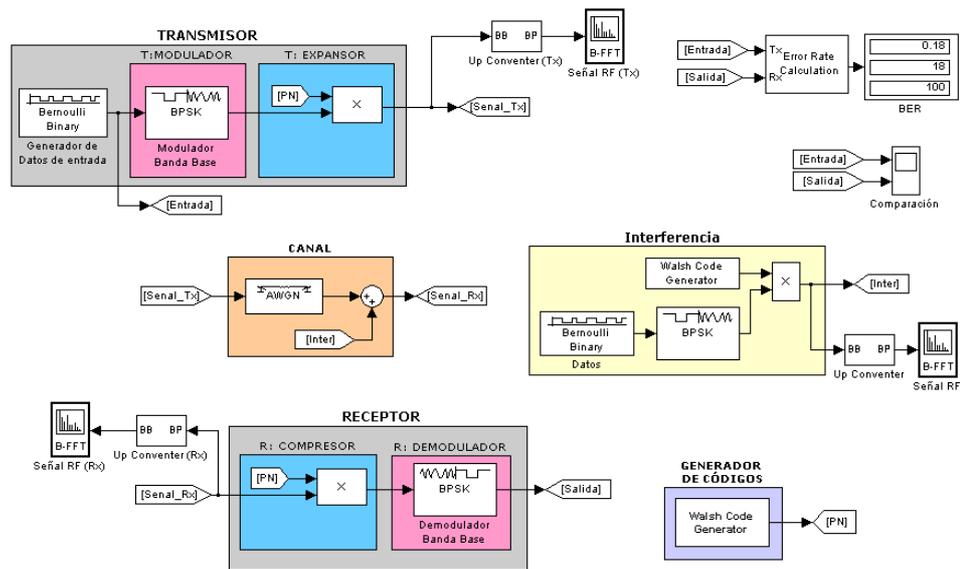


Figura 8. 12 Diagrama de Bloques del Sistema DSSS con Expansión posterior a la Modulación, Ruido Blanco e Interferencia

En la figura 8.13 se puede apreciar la relación entre el número de sistemas que interfieren y el desempeño del sistema. Observamos que el BER aumenta aproximadamente 0.04 con la introducción de cada nueva señal de interferencia, cabe anotar que estas señales provenientes de otros sistemas DSSS operan en el mismo canal que el sistema “principal”.

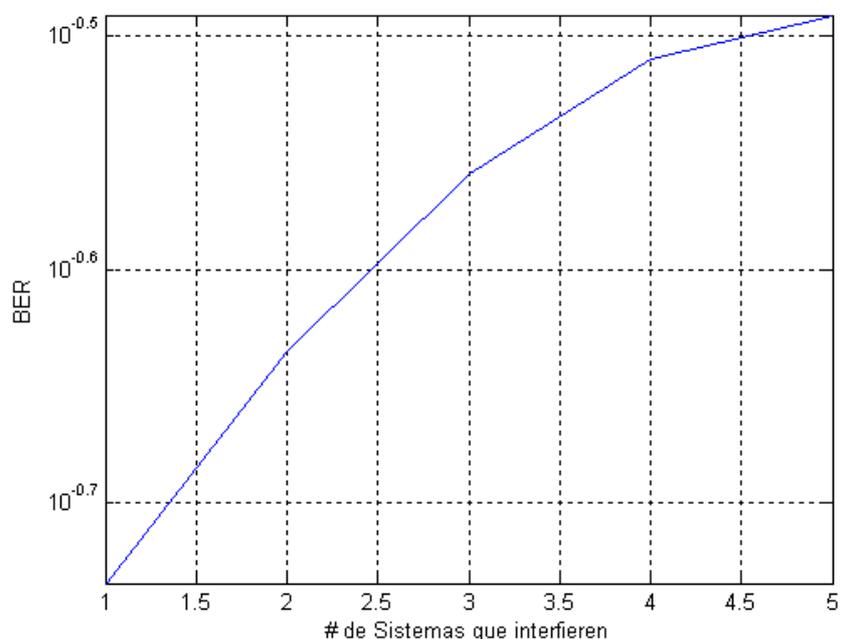


Figura 8. 13 Relación BER vs. Número de Señales de Interferencia de un Sistema DSSS

8.3. Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia

Para estas simulaciones se empleó: un generador de datos binarios Bernoulli para la entrada con una frecuencia de 667KHz ($F_s=667\text{KHz}$), un generador de números aleatorios entre 0 y 78 (79 posibles saltos) de 1.6kHz para la secuencia pseudo-aleatoria, modulación 79-FSK con separación de 1MHz para simular el sintetizador de frecuencias y modulación CPM parametrizada de tal forma que actúa de manera similar a la modulación GFSK. Cabe anotar que dentro del bloque de modulación se encuentran algunos pasos necesarios para asegurar un FET de 2/3.

8.3.1. Simulación en Caso Ideal

En la modulación FHSS, la fase de Expansión se da luego de la modulación. Se multiplica la señal modulada por la salida de un sintetizador de frecuencia que es alimentado por la secuencia pseudo-aleatoria, de tal forma que los saltos de la frecuencia dependen de esta secuencia.

En la figura 8.14 se puede apreciar el Diagrama de Bloque de un Sistema FHSS Ideal.

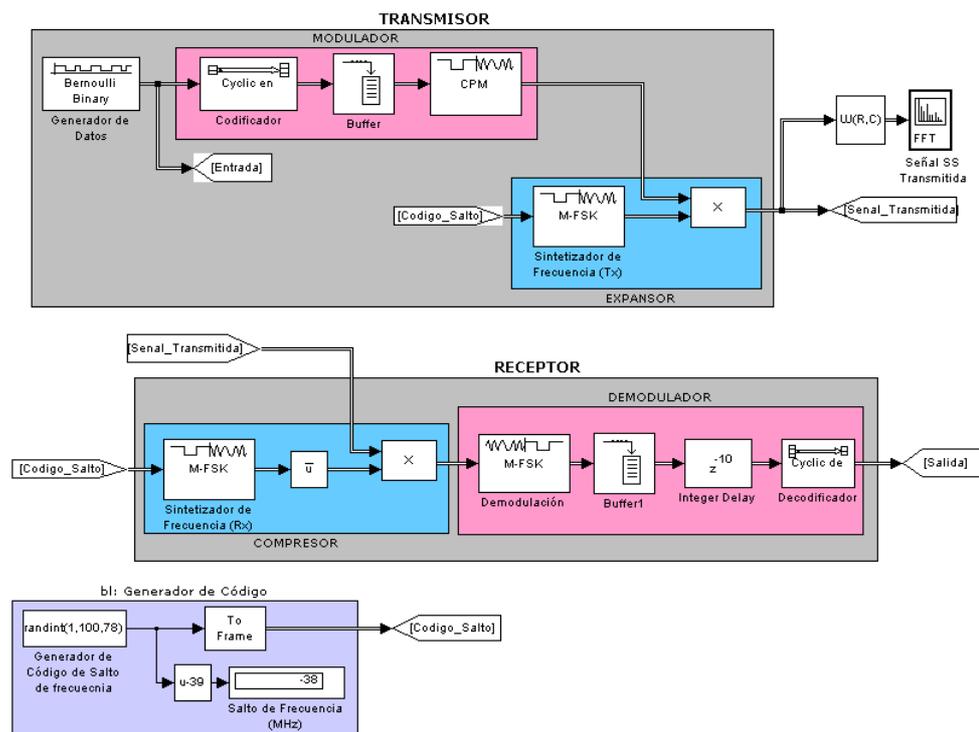


Figura 8. 14 Diagrama de Bloques del Sistema FHSS Ideal

En la figura 8.15 podemos observar señales SS de diferentes instantes de la simulación en el dominio de la frecuencia, con lo cual apreciamos los saltos de frecuencia de la señal de datos por los cuales este tipo de Sistemas recibe su nombre.

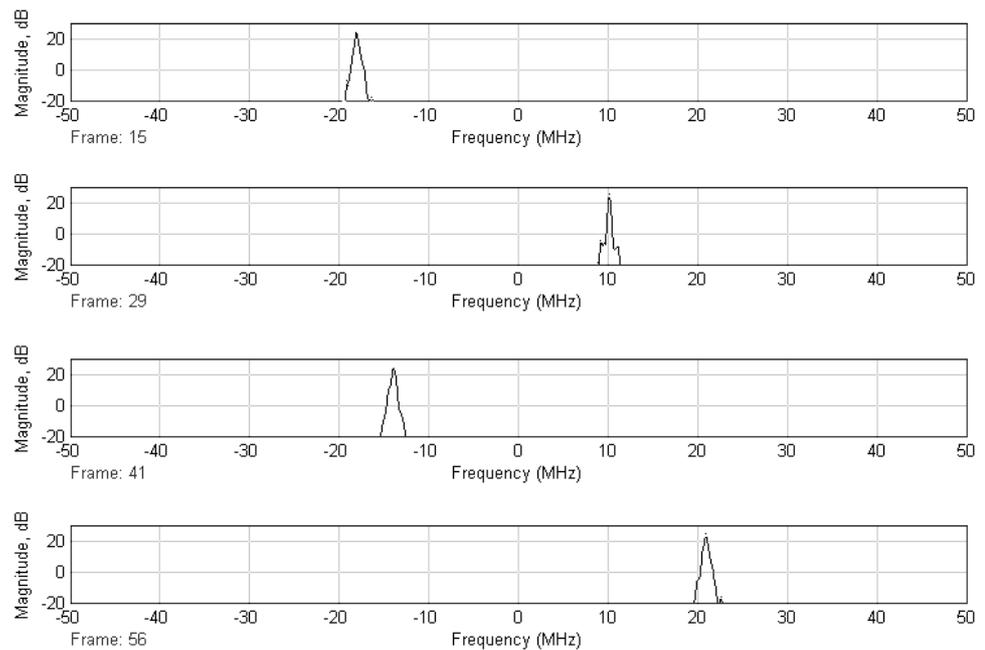


Figura 8. 15 Señales SS de diferentes instantes en el dominio de la frecuencia de un Sistema FHSS Ideal

En el receptor se multiplica la señal recibida por la salida conjugada de un sintetizador de frecuencia de características similares al del transmisor que es alimentado por la secuencia pseudo-aleatoria del receptor, de tal forma que se obtiene la señal original modulada debido a que se anulan los desplazamientos o saltos.

8.3.2. Simulación con presencia de Ruido

Para esta simulación, se le agregó al sistema FHSS Ideal un canal de Ruido Blanco Gaussiano y se variaron los valores del E_b/N_0 entre 3dB y 10dB, de esta forma se pudo observar el desempeño del sistema FHSS. En la figura 8.16 podemos observar el correspondiente diagrama de bloques, mientras que en la figura 8.17 se puede apreciar la relación BER vs E_b/N_0 de este sistema.

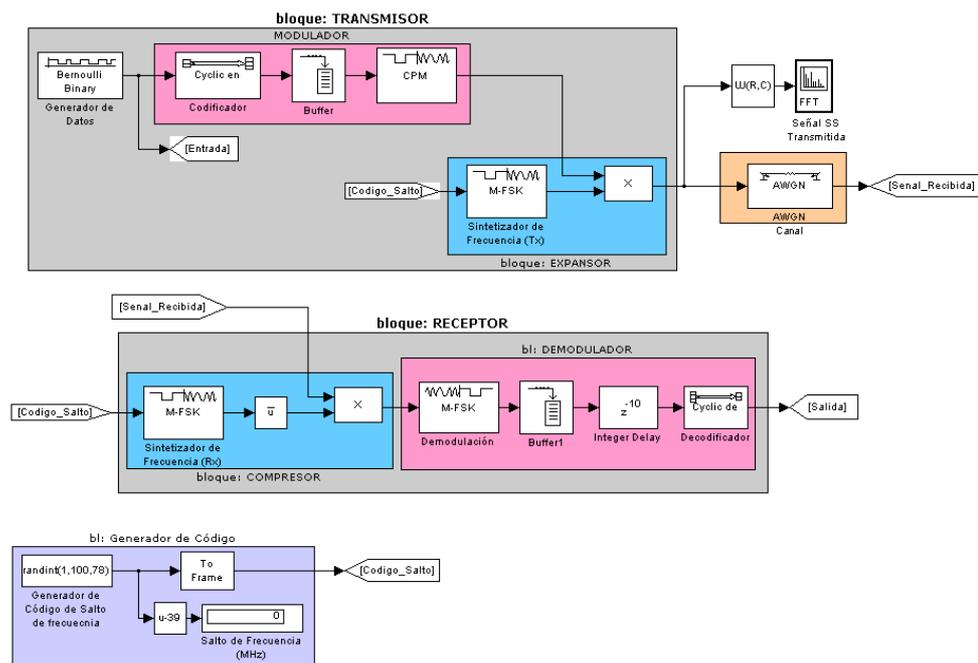


Figura 8. 16 Diagrama de Bloques del Sistema FHSS con Ruido

Blanco

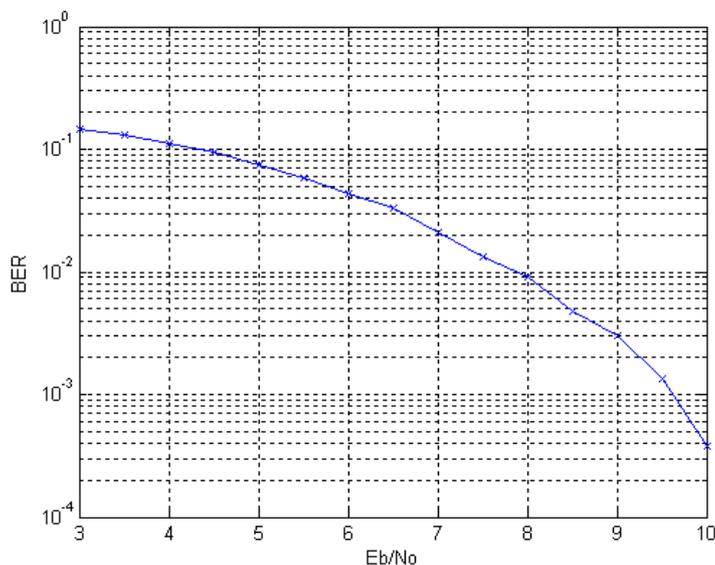


Figura 8. 17 Relación BER vs. Eb/No del Sistema FHSS con Ruido Blanco

8.3.3. Simulación con Interferencia

Para esta simulación se empleó el Sistema FHSS con Ruido Blanco Gaussiano de $E_b/N_0=3\text{dB}$ y secuencia pseudo-aleatoria de 1.6KHz; pero se le agregó señales provenientes de otros Sistemas FHSS como interferencia. En la figura 8.18 podemos observar el Diagrama de Bloques de este Sistema FHSS Completo.

En la figura 8.19 se puede apreciar la relación entre el número de sistemas que interfieren y el desempeño del sistema. Observamos que el BER aumenta aproximadamente 0.012 con la introducción de cada nueva señal de interferencia.

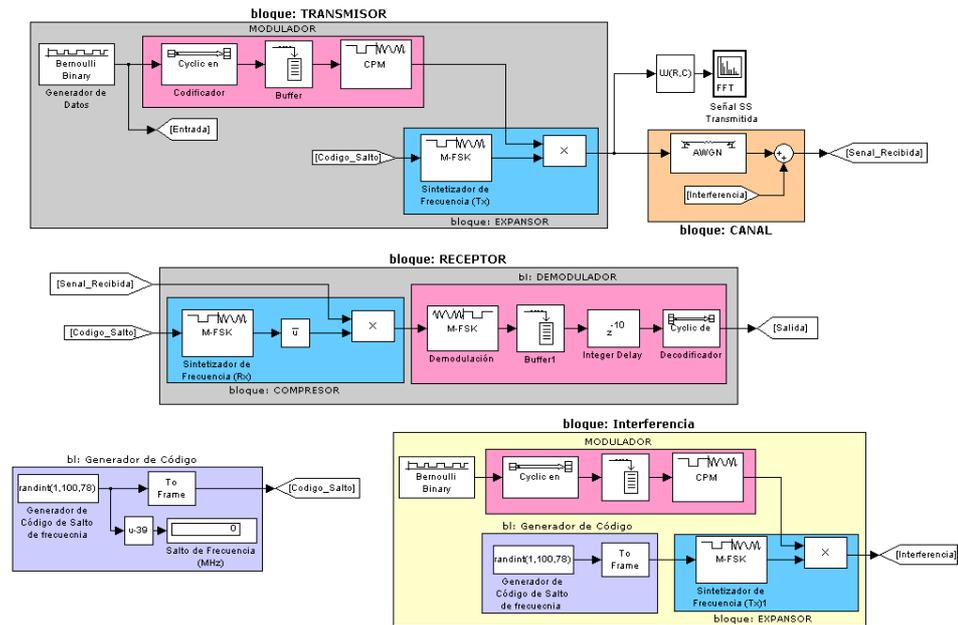


Figura 8. 18 Diagrama de Bloques del Sistema FHSS con Ruido Blanco e Interferencia

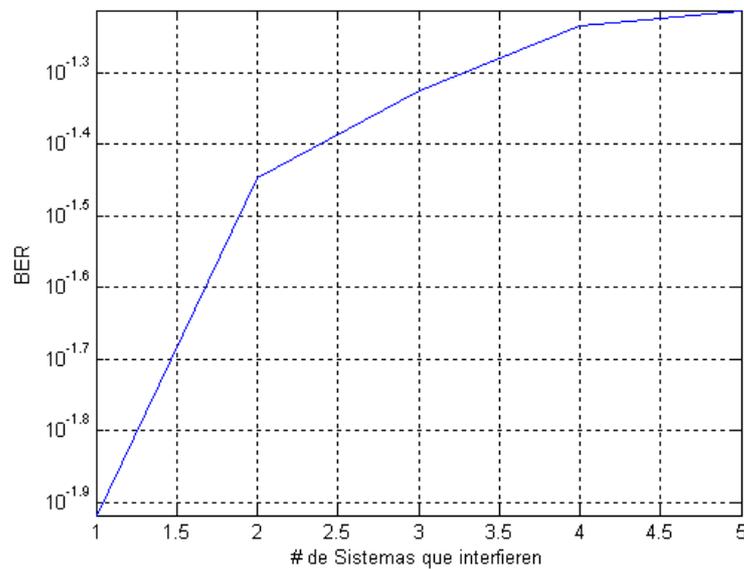


Figura 8. 19 Relación BER vs. Número de Señales de Interferencia de un Sistema FHSS

8.4. Comparación entre ambas Tecnologías

Al analizar la relación BER vs E_b/N_0 de ambas modalidades, es evidente que el Sistema DSSS tiene un mejor desempeño ante el ruido blanco puesto que para un valor de $BER=10^{-3}$, es decir un error entre 1000 datos enviados, el Sistema FHSS requiere de un E_b/N_0 superior a los 9.5dB, mientras que el Sistema DSSS alcanza este valor con menos de 7dB, tal como se puede apreciar en la figura 8.20.

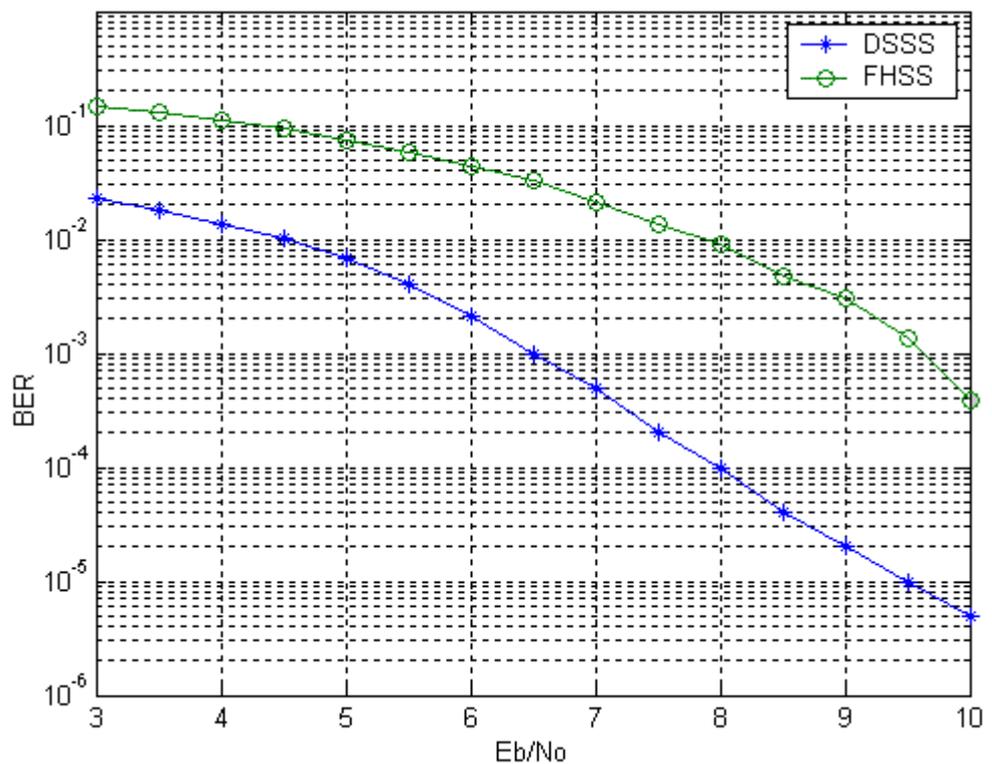


Figura 8. 20 Relación BER vs E_b/N_0

Por el contrario, al analizar la relación entre el BER y el número de Sistemas que interfieren se nota que los Sistemas FHSS responden mejor al aumento del número de señales de interferencia, puesto que el aumento del BER es menor. Esto se ve reflejado en las curvas de la figura 8.21, donde la pendiente de la curva correspondiente al Sistema FHSS es menor que la pendiente del Sistema DSSS.

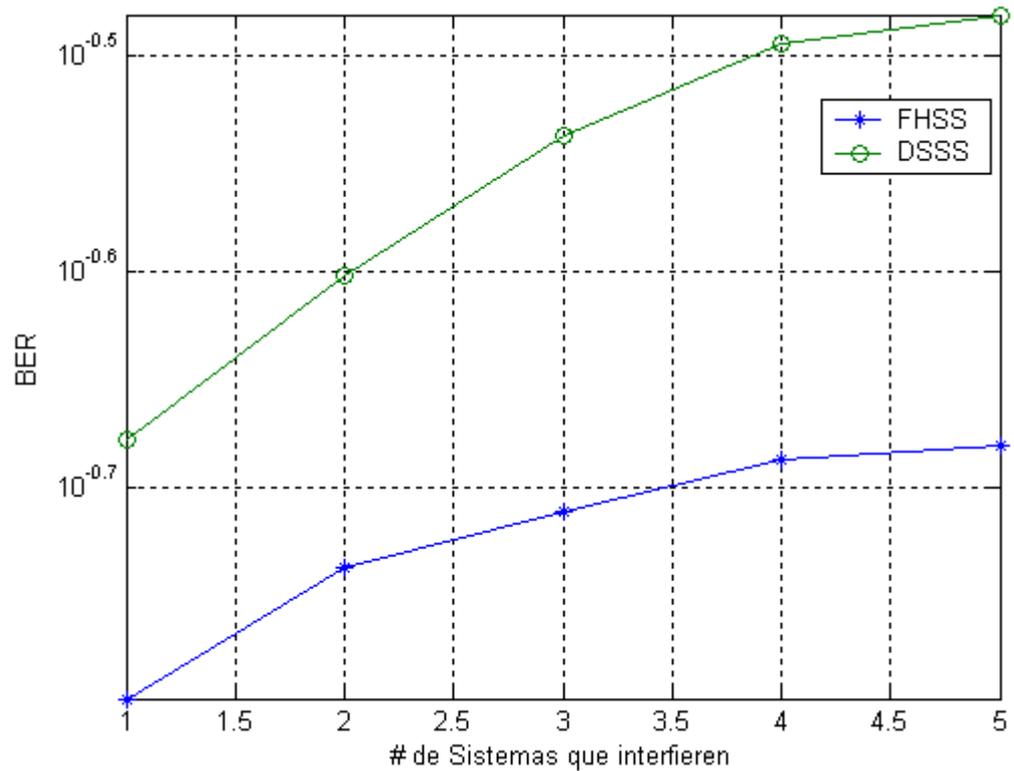


Figura 8. 21 Relación BER vs. Número de Señales de Interferencia

CONCLUSIONES

La Tecnología de Espectro Ensanchado actualmente es una técnica ampliamente usada en el área de Telecomunicaciones, debido a las importantes ventajas proporcionadas entre las cuales podemos mencionar: baja potencia, rechazo a la interferencia y bloqueo, coexistencia con otros sistemas de banda angosta y bajo costo.

Al Realizar el Análisis de la Banda de 2.4 Ghz pudimos observar que la banda se encuentra bastante saturada. Tanto es así que debido a la gran cantidad de enlaces en 2.4GHz para operar en la zona céntrica de la Ciudad de Guayaquil se utilizan equipos que convierten la frecuencia para trabajar en 5.8GHz y después volver a bajar en el receptor a 2.4GHz.

Al analizar la relación BER vs Eb/No de ambas modalidades, es evidente que el Sistema DSSS tiene un mejor desempeño ante el ruido blanco puesto que para un valor de $BER=10^{-3}$, es decir un error entre 1000 datos enviados, el Sistema FHSS requiere de un Eb/No superior a los 9.5dB, mientras que el Sistema DSSS alcanza este valor con menos de 7dB.

Por el contrario, en el caso de la interferencia proveniente de otros sistemas en la misma banda, podemos concluir que la Técnica Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia presenta una mejor reacción ante el incremento del número de sistemas que interfieren la señal, lo cual se desprende del análisis de los gráficos correspondientes.

Espectro Ensanchado de Frecuencia de Salto se aplica más en ambientes de trayectorias múltiples, puesto que se obtiene un mejor desempeño que en Secuencia Directa; por el contrario, Espectro Ensanchado de Secuencia Directa se emplea en entornos con línea de vista y de gran alcance.

Con respecto a la Tasa de Datos en Secuencia Directa se puede incrementar aumentando la tasa del reloj, pero en Salto de Frecuencia se necesitaría un mayor ancho de banda, lo cual no es conveniente y recortaría el número de canales para saltar.

Desde el punto de vista económico, el costo de implementar el diseño con DSSS es menor que la solución con FHSS; tanto en lo que implica a equipos como en lo correspondiente a los pagos de solicitud de operación y homologación.

En cuanto respecta a las propiedades individuales e importantes de cada una de las técnicas de Espectro Ensanchado se recomienda el diseño de una Red Híbrida es decir Espectro Ensanchado de Secuencia Directa en ambientes despejados o con menores obstáculos y Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia en ambientes multitrayectorios, cumpliendo siempre con las regulaciones y homologaciones establecidas para nuestro País.

ANEXO A

Interferencia en Sistemas Espectro Ensanchado

Interferencia en Sistemas Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia

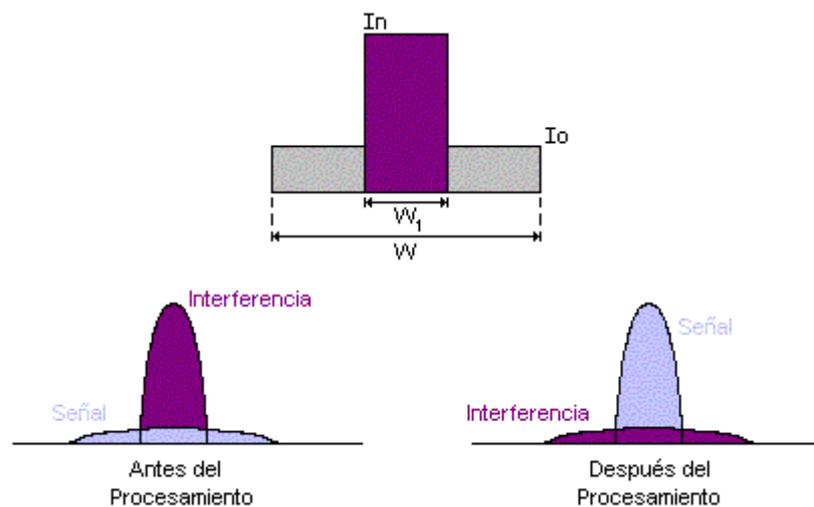
La relación señal a ruido en sistemas de salto de frecuencia (FHSS) es representada por la siguiente ecuación:

$$\gamma_b = \frac{Eb}{No}$$

Donde No es la densidad de los dos lados de la densidad espectral de potencia del ruido, Eb es la energía por bit.

El espectro de ruido blanco es plano y tapa uniformemente todas las frecuencias de salto. Por lo tanto, el SNR (señal recibida) recibido en sistemas por salto de frecuencia es el mismo cada brinco.

Espectro ensanchado es mucho más resistente a la interferencia que otros sistemas. La interferencia en banda estrecha en sistemas de saltos de frecuencia afecta brincos simples mientras en interferencia de banda amplia afecta todos los brincos. Quizá el mejor camino para visualizar los efectos de estos dos tipos de interferencia en el FHSS es a través de un ejemplo.



Claramente la señal, no se puede ver afectada perceptiblemente por la interferencia. En el receptor se separa la interferencia de banda estrecha y se maximiza la señal. En este estudio simplificado se hacen pocas asunciones:

- Se asumen que las señales de interferencia de banda estrecha y amplia tienen potencia espectral rectangular.
- El ancho de banda de la señal de interferencia de banda amplia se asume igual al ancho de banda W de la transmisión (su altura es I_0).
- El ancho de banda W_1 de la señal de interferencia de banda estrecha se asume más estrecha, entonces el ancho de banda en cada salto ($W_1 \leq W/p_g$) y el alto espectral I_n . Así, la potencia recibida de interferencia se expresa como sigue

$$I_{av} = I_n \times W_1 = I_0 \times W$$

La misma potencia se asume para interferencia de banda estrecha y de banda ancha (Wideband).

Interferencia de Banda Amplia

En caso de interferencia de Banda Amplia la relación señal a ruido es expresada como:

$$\gamma_{b-wl} = \frac{Eb}{I_0} = \frac{W}{Rb} \times \frac{P_{av}}{I_{av}}$$

Donde Rb es la proporción de bit, P_{av} es la potencia media de la señal transmitida y I_{av} es la potencia media de la señal que interfiere. Como se puede observar en la ecuación anterior, la relación señal a ruido es $P_G = W/Rb$ veces más grandes que si la técnica SS no fuese utilizada. La relación señal a ruido usado para el cálculo de BER es P_G veces más grandes, así decremента significativamente la proporción de error.

Este resultado también demuestra la posibilidad de que FHSS exista sobre otros sistemas, la cual es una característica atractiva especialmente en aplicaciones comerciales.

Interferencia de Banda Estrecha

Al analizar los efectos de interferencia de banda estrecha se asume que la señal de interferencia afecta a un solo brinco. Por ejemplo la interferencia en el ancho de banda de 1 bit por modulación de Hertz sería $W_1 = W/P_G = Rb$ y el alto $E_n = I_{av}/W_1$. Por lo tanto, la relación señal a ruido por bit para la interferencia de banda estrecha es:

$$\gamma_{b-NI} = \frac{Eb}{In} = \frac{W_1}{Rb} \times \frac{Pav}{Iav} = \frac{Pav}{Iav}$$

Es igual al SNR del sistema sin FHSS. Así, FHSS no proporciona alguna protección contra la interferencia a un brinco, pero asumimos que el resto de brincos no son afectados, por lo cual la señal promedio es:

$$\bar{\gamma}_{b-NI} = \frac{N \times Eb}{In} = \frac{N \times W_1 \times Eb}{Iav} = \frac{W \times Eb}{Iav} = \frac{Eb}{Io} = \frac{W}{R} \times \frac{Pav}{Iav}$$

Que es el mismo SNR para interferencia de banda amplia. Así, si interferimos cada brinco exactamente, FHSS no proporciona alguna protección contra interferencia. Este escenario es muy poco probable en una aplicación comercial y por lo tanto FHSS puede ser completamente eficaz en luchar contra la interferencia, especialmente si es usado en combinación con detección de errores.

Interferencia en Sistemas Espectro Ensanchado de Secuencia Directa

Asumiendo que la señal de secuencia directa transmitida puede ser representada por la señal de banda base:

$$x(t) = \sum_n a_n \times f(t - nT_b)$$

Donde a_n es la señal de información y T_b es un periodo de la señal ensanchada; la señal recibida afectada solo por la interferencia es dada por:

$$r(t) = \sum_n a_n \times f(t - nT_b) + i(t)$$

Donde $i(t)$ es la señal de interferencia. Esta señal después de la correlación en el receptor da como resultado:

$$R_{rx}(t) = \sum_n a_n \times R_{ff}(t - nT_b) + z(t)$$

donde R_{ff} es la función de autocorrelación de $f(t)$. La relación señal a ruido por bit en la salida del correlador es descrita por:

$$r_b = \frac{Eb}{I_o}$$

Donde lo está dada por:

$$I_o = \frac{1}{E_c} \int_{-\infty}^{\infty} |P(f)|^2 \phi_{zz}(f) df$$

En que $P(f)$ es la respuesta de impulso, $\phi_{zz}(f)$ es la densidad de poder espectral de la señal de interferencia $z(t)$ a la salida del correlador y $E_c = E_b / P_G$.

Interferencia de Banda Ancha

Otra vez asumimos que la interferencia de banda amplia tiene un espectro plano. Si la densidad espectral de potencia de la señal que interfiere es I ,

$$\phi_{zz}(f) = Y_o,$$

Donde $Y_o = I_o$, la relación señal a ruido para interferencias de Banda Ancha es:

$$\gamma_{b-wl} = \frac{Eb}{I_o} = \frac{W}{Rb} \times \frac{P_{av}}{I_{av}}$$

Que es idéntico a la relación en los sistemas FHSS con interferencia de banda amplia. Como en el caso de FHSS la ganancia de procesamiento incrementa el SNR P_G veces. Así, la proporción de error puede ser controlada ajustando el ancho de banda de la señal transmitida.

Interferencia de Banda Estrecha

Para el análisis de los efectos de interferencia de banda estrecha en DSSS se asume que la portadora de la señal interferencia es solo la frecuencia central del sistema DSSS.

En este caso la densidad Espectral de Potencia de la señal banda base equivalente es representada por:

$$\phi_{zz}(f) = I_{av} \times \delta(f)$$

Donde:

$$P(0) = \int_{-\infty}^{\infty} p(t) dt$$

La relación señal a ruido es dada por:

$$\gamma_{b-NI} = \frac{Ec / |P(0)|^2}{Rb} \times \frac{Pav}{Iav}$$

Para el pulso rectangular

$$|P(0)|^2 = Tc \times Ec = \frac{Ec}{W}$$

Por lo que resulta

$$\gamma_{b-NI} = \frac{W}{Rb} \times \frac{Pav}{Iav}$$

Que es idéntico a la relación señal a ruido para una interferencia de Banda Ancha. En contraste a un sistema FHSS la proporción de error es reducido exponencialmente como la ganancia de procesado es aumentada.

En sistemas FHSS con interferencia de banda estrecha la proporción de error mejora como una función recíproca de la ganancia de procesado.

ANEXO B

**Formularios para la Operación de un Sistema
Espectro Ensanchado**

FORMULARIO PARA SOLICITAR LA APROBACION DE OPERACION DE SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO

N°.:

FECHA:

1. DATOS GENERALES:

SOLICITANTE:

REPRESENTANTE LEGAL:

DOMICILIO:

(Ciudad - Localidad)

(Cantón)

(Provincia)

(Dirección)

(Teléfono – Fax)

e-mail

2. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA:

2.1. CLASE DE SISTEMA A OPERAR:

SECUENCIA DIRECTA:

SALTO DE FRECUENCIA:

HIBRIDO:

2.2. SISTEMA:

PRIVADO:

EXPLOTACION:

PUNTO A PUNTO:

PUNTO A MULTI PUNTO:

MOVIL:

RADIOLOCALIZACION:

2.3. BANDA DE FRECUENCIAS A UTILIZAR EN MHz:

902 – 928

2.400 –2.483,5

5.725 – 5.850

OTRAS

2.4. NUMEROS DE LOS CERTIFICADOS DE HOMOLOGACION DE LOS EQUIPOS:

3. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL SISTEMA

3.1. DIAGRAMA DE CONFIGURACION:

(Detallar la simbología utilizada)

3.2. DESCRIPCION DE LAS ESTACIONES DEL SISTEMA:

a) CONFIGURACION PUNTO A PUNTO:

SITIO A:

(CIUDAD – Dirección y Número/ Localidad)

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: (LONGITUD)(LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR: (metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EQUIVALENTE: (p.i.r.e): (vatios)

POTENCIA MÁXIMA DE SALIDA:(vatios)

GANANCIA DE LA ANTENA:(dBi)

SITIO B:

(CIUDAD – Dirección y Número/ Localidad)

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: (LONGITUD)(LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR: (metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO: (metros)

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EQUIVALENTE: (p.i.r.e): (vatios)

POTENCIA MÁXIMA DE SALIDA:(vatios)

GANANCIA DE LA ANTENA:(dBi)

Distancia SITIO A – SITIO B :(Km)

b) CONFIGURACION PUNTO A MULTI PUNTO:

ESTACIÓN CENTRAL 1:

(CIUDAD – Dirección y Número/ Localidad)

COORDENADAS GEOGRAFICAS:(LONGITUD) (LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR:(metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EQUIVALENTE (p.i.r.e):(vatios)

POTENCIA MAXIMA DE SALIDA:(vatios)

GANANCIA DE LA ANTENA: (dBi)

SUPERFICIE DEL AREA A SERVIR(Km²)

LOCALIDADES A CUBRIR

Adjuntar mapa con el area de servicio de la estacion central

ESTACIÓN CENTRAL 2:

(CIUDAD – Dirección y Número/ Localidad)

COORDENADAS GEOGRAFICAS:(LONGITUD) (LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR:(metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EQUIVALENTE (p.i.r.e):(vatios)

POTENCIA MAXIMA DE SALIDA:(vatios)

GANANCIA DE LA ANTENA: (dBi)

SUPERFICIE DEL AREA A SERVIR(Km2)

LOCALIDADES A CUBRIR

ESTACIÓN CENTRAL 3:

(CIUDAD – Dirección y Número/ Localidad)

COORDENADAS GEOGRAFICAS:(LONGITUD) (LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR:(metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EQUIVALENTE (p.i.r.e):(vatios)

POTENCIA MAXIMA DE SALIDA:(vatios)

GANANCIA DE LA ANTENA: (dBi)

SUPERFICIE DEL AREA A SERVIR(Km2)

LOCALIDADES A CUBRIR

ESTACIÓN CENTRAL 4:

(CIUDAD – Dirección y Número/ Localidad)

COORDENADAS GEOGRAFICAS:(LONGITUD) (LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR:(metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EQUIVALENTE (p.i.r.e):(vatios)

POTENCIA MAXIMA DE SALIDA:(vatios)

GANANCIA DE LA ANTENA: (dBi)

SUPERFICIE DEL AREA A SERVIR(Km2)

LOCALIDADES A CUBRIR

(Para mas sitios en la configuracion del sistema, adjuntar fojas adicionales, con la informacion descriptiva)

DISTANCIA:

ESTACION CENTRAL 1 – ESTACION 2 (Km):

ESTACION CENTRAL 1 – ESTACION 3 (Km):

ESTACION CENTRAL 1 – ESTACION 4 (Km):

c) CONFIGURACION MOVIL:

ESTACIÓN BASE A:

(CIUDAD – Dirección y Número / Localidad)

COORDENADAS GEOGRAFICAS:(LONGITUD) (LATITUD)
ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR:(metros)
ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)
POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EQUIVALENTE: (p.i.r.e):(vatios)
POTENCIA MAXIMA DE SALIDA:(vatios)
GANANCIA DE LA ANTENA:(dBi)
SUPERFICIE DEL AREA A SERVIR (Km2)
LOCALIDADES A CUBRIR
Adjuntar mapa con el area servida de la estacion base A

CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES MOVILES:
POTENCIA MAXIMA DE SALIDA:(vatios)
GANANCIA DE LA ANTENA: (dBi)

d) CONFIGURACION DE RADIOLOCALIZACION DE VEHICULOS

ESTACION RECEPTORA DE TRIANGULACIÓN 1:

(CIUDAD – Dirección y Número / Localidad)

COORDENADAS GEOGRAFICAS:(LONGITUD)(LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR:(metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)

SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR: (dBm)

GANANCIA DE ANTENA: (dBi)

ESTACION RECEPTORA DE TRIANGULACIÓN 2:

(CIUDAD – Dirección y Número / Localidad)

COORDENADAS GEOGRAFICAS:(LONGITUD)(LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR:(metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)

SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR: (dBm)

GANANCIA DE ANTENA: (dBi)

ESTACION RECEPTORA DE TRIANGULACIÓN 3:

(CIUDAD – Dirección y Número / Localidad)

COORDENADAS GEOGRAFICAS:(LONGITUD)(LATITUD)

ALTURA DEL SUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR:(metros)

ALTURA DE LA ANTENA SOBRE EL SUELO:(metros)

SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR: (dBm)

GANANCIA DE ANTENA: (dBi)

(Para mas estaciones receptoras de triangulacion adjuntar fojas adicionales, con la informacion descriptiva).

CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES MOVILES:

POTENCIA MAXIMA DE SALIDA:(vatios)

GANANCIA DE ANTENA:(dBi)

ESPACIAMIENTO DE CANALES:(kHz)

FRECUENCIA DE SALTO: _____ (Saltos/segundo)

RANGO DE FRECUENCIAS SOLICITADO: _____ (kHz)

FRECUENCIA DE RECEPCION: _____ (MHz)

(Adjuntar autorizacion o fe de presentacion de la frecuencia del enlace estacion base - movil)

SUPERFICIE DEL AREA A SERVIR: _____ (Km2)

LOCALIDAD(ES) CUBIERTA(S): _____

Adjuntar mapa con el area servida por el sistema de radiolocalizacion.

Declaro que: En caso de interferencias a sistemas debidamente autorizados, asumo el compromiso de solucionar, a mi costo dichas interferencias; a la vez que acepto las interferencias que causaren al sistema que describo en la presente Norma Técnica.

Adjunto características técnicas de equipos y antenas a utilizar.

FIRMA DEL SOLICITANTE

NOMBRE:

C.C.:

FIRMA DEL RESPONSIBLE TECNICO

NOMBRE:

C.C.:

NUMERO DE LICENCIA PROFESIONAL:

**DIRECCION GENERAL DE GESTION
DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES
SOLICITUD PARA HOMOLOGACION DE EQUIPOS QUE UTILIZAN TECNOLOGIA DE
ESPECTRO ENSANCHADO**

Quito, adedel.....

Señor(a) Ingeniero(a)
**DIRECTOR(A) GENERAL DE GESTION
DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES**
Presente

Yo,.....por mis propios derechos y en calidad de representante legal de la firma.....solicito se me extienda el Certificado de Homologación del equipo cuyas características y especificaciones se detallan en el anexo adjunto y que básicamente son las siguientes:

MARCA:
MODELO:
FCC-ID:
TIPO DE TRAMITE (IMPORTACION/INDIVIDUAL):

Para lo cual estoy adjuntando toda la documentación requerida para el efecto:

- Manuales Técnicos.
- Certificado de Características Técnicas; (solo para equipos de gran alcance).
- Constitución de la Compañía.
- RUC / CI
- Nombramiento del representante legal.
- Fotocopia de la cédula de identidad, (del representante legal para el caso de ser compañía).

Domicilio:
Teléfono y Fax:.....
Dirección electrónica:.....

Declaro que la información suministrada es fidedigna y que me someto a las disposiciones emitidas para el efecto por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones:

.....
Firma del solicitante

ANEXO HOMOLOGACION DE EQUIPOS CON TECNOLOGIA DE ESPECTRO ENSANCHADO

REFERENCIA DE PAISES DONDE SE ENCUENTRE OPERANDO EQUIPOS
SIMILARES:

OBJETOS DE LA SOLICITUD

- Homologar un equipo nuevo
- Homologar equipo vuelto a presentar
- Homologar identificación del equipo
- Homologar cambio de identificación
- Cambios en el Certificado de Homologación
- Renovación del Certificado de Homologación
- Otros, especificar.

DOCUMENTACIÓN ADJUNTA

- Manual Descriptivo
- Manual de instalación
- Manual de operación y mantenimiento
- Especificaciones técnicas
- Resultados de las pruebas en fábrica o en la institución internacional en donde haya sido homologado el equipo.
- Documentos de importación.
- Otras, especificar.

MUESTRAS DISPONIBLES

MARCA:
MODELO:
TIPO:
CANTIDAD:
ACCESORIOS:

GARANTIA TECNICA Y MANTENIMIENTO.....
DURACIÓN DE LA GARANTIA TECNICA.....
TIPO DE GARANTIA QUE OFRECE.....
DURACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE REPUESTOS.....
DISPONE DE UN CENTRO DE MANTENIMIENTO.....
DESCRIPCION DEL CENTRO DE MANTENIMIENTO O
LABORATORIO.....

DATOS DEL EQUIPO

DATOS DE LA EMPRESA:

NOMBRE DE LA EMPRESA:

DIRECCIÓN:

CIUDAD:

PAIS:

APARTADO DE CORREO:

TELEFONO:

FAX:

IDENTIFICACION DEL EQUIPO:

NOMBRE COMERCIAL :

MARCA:

MODELO:

PAIS DE FABRICACIÓN (ENSAMBLAJE):

DESCRIPCIÓN, APLICACIÓN Y USO DEL EQUIPO:

.....
.....
.....
.....
.....

NORMA NACIONAL O INTERNACIONAL A LA CUAL ESTA SUJETO EL EQUIPO (DEBE
ADJUNTAR UNA CERTIFICACIÓN DE UN ORGANISMO REGULADOR)

**SOLICITUD PARA HOMOLOGACIÓN DE EQUIPOS TERMINALES
PARA IMPORTACIÓN**

No.

..... (ciudad) , a (día), de (mes), del (año)

Señor Ingeniero

INTENDENTE REGIONAL

Presente

Yo, por mis propios derechos, y en calidad de representante legal de la firma solicito se me extienda el Certificado de Homologación y Etiquetas, para los equipos cuyas características y especificaciones se detallan en el anexo adjunto y que básicamente son las siguientes:

TIPO DE TERMINAL:	
MARCA:	
MODELO:	
ESN / SERIE:	
FCC ID:	

DATOS ADICIONALES:

DIRECCIÓN DE LA EMPRESA:		
CIUDAD:		
TELÉFONO Y FAX:		
DIRECCIÓN ELECTRÓNICA:		
DUI (Documento Único de Importación)	No.:	para importar:.....equipos
		pendientes: equipos

DOCUMENTACIÓN SOLICITADA ADJUNTA:

	Manuales Técnicos
	Certificado de Características Técnicas
	Constitución de la Compañía
	RUC / CI
	Nombramiento del Representante Legal
	Fotocopia de la cédula de identidad, (del representante legal para el caso de ser compañía)

Declaro que la información suministrada es fidedigna y que me someto a las disposiciones emitidas por la Superintendencia de Telecomunicaciones.

FIRMA DEL SOLICITANTE

**ANEXO HOMOLOGACIÓN DE EQUIPOS TERMINALES PARA
IMPORTACIÓN**

REFERENCIA DE PAISES DONDE SE ENCUENTRE OPERANDO EQUIPOS
SIMILARES:

OBJETOS DE LA SOLICITUD

Homologar un equipo nuevo
Homologar equipo vuelto a presentar
Homologar identificación del equipo
Homologar cambio de identificación
Cambios en el Certificado de Homologación
Renovación del Certificado de Homologación
Otras, especificar

DOCUMENTACIÓN ADJUNTA

Manual Descriptivo
Manual de instalación
Manual de operación y mantenimiento
Especificaciones técnicas
Resultados de las pruebas en fábrica
Documentos de importación
Otras, especificar

MUESTRAS DISPONIBLES

MARCA:

MODELO:

TIPO:

CANTIDAD:

ACCESORIOS:

Garantía Técnica y Mantenimiento

Duración de la Garantía Técnica

Tipo de Garantía que ofrece

Duración de disponibilidad de repuestos

Dispone de un Centro de
Mantenimiento

Descripción del Centro de
Mantenimiento o Laboratorio

DATOS DEL EQUIPO

DATOS DE LA EMPRESA:

NOMBRE DE LA EMPRESA:	
DIRECCIÓN:	
CIUDAD - PAÍS:	
APARTADO DE CORREO:	
TELÉFONO Y FAX:	
IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO:	
NOMBRE COMERCIAL:	
MARCA:	
MODELO:	
DESCRIPCIÓN, APLICACIÓN Y USO DEL EQUIPO:	

NORMA NACIONAL O INTERNACIONAL A LA CUAL ESTÁ SUJETO EL EQUIPO (DEBE ADJUNTAR UNA

CERTIFICACIÓN DE UN ORGANISMO REGULADOR)

**SOLICITUD PARA HOMOLOGACIÓN DE EQUIPOS TERMINALES
INDIVIDUALES**

No.

..... (ciudad) , a (día), de (mes), del (año)

Señor Ingeniero

INTENDENTE REGIONAL

Presente

Yo, por mis propios derechos, me permito solicitar se me extienda el Certificado de Homologación y Etiqueta(s), a fin de poder usar en el país el equipo cuya identificación es:

TIPO DE TERMINAL:		
MARCA:		
MODELO:		
ESN / SERIE:		
FCC ID:		
FACTURA DE COMPRA:	SI: <input type="checkbox"/>	NO: <input type="checkbox"/>

DATOS ADICIONALES PARA PERSONAS NATURALES

CÉDULA IDENTIDAD:	
DOMICILIO:	
TELÉFONO:	

**DECLARACIÓN DEL ORIGEN DE EQUIPOS TERMINALES DE
TELECOMUNICACIONES INDIVIDUALES A SER HOMOLOGADOS POR LA
SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES**

Yo, declaro que el equipo antes mencionado es de mi propiedad el mismo que y de ninguna manera ha sido obtenido en forma ilícita.

Por lo tanto autorizo a la Superintendencia de Telecomunicaciones, a realizar cualquier investigación para confirmar esta información, así como de considerarlo procedente a anular el certificado de homologación otorgado.

Además, declaro que toda esta información es fidedigna y que me someteré, a las disposiciones emitidas por la Superintendencia de Telecomunicaciones.

FIRMA DEL SOLICITANTE

ANEXO C

**CANALES DE ENLACE DE COMUNICACIÓN Y
EQUIPOS DE CONTROL EN LA BTS**

CANALES DE TRÁFICO

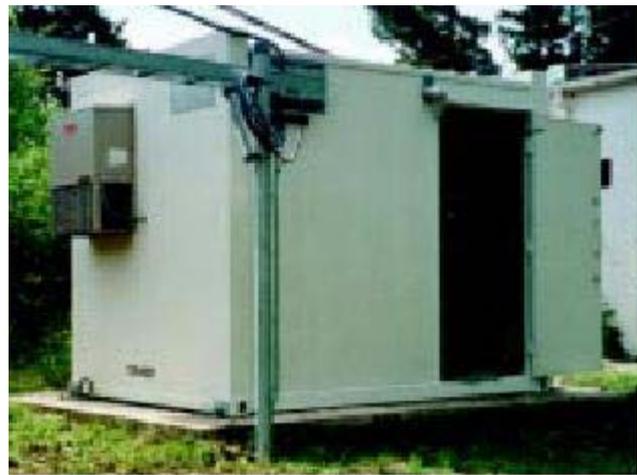
Los canales presentes en un sistema móvil de comunicación dentro de una Estación Base, al momento de establecer una comunicación son:

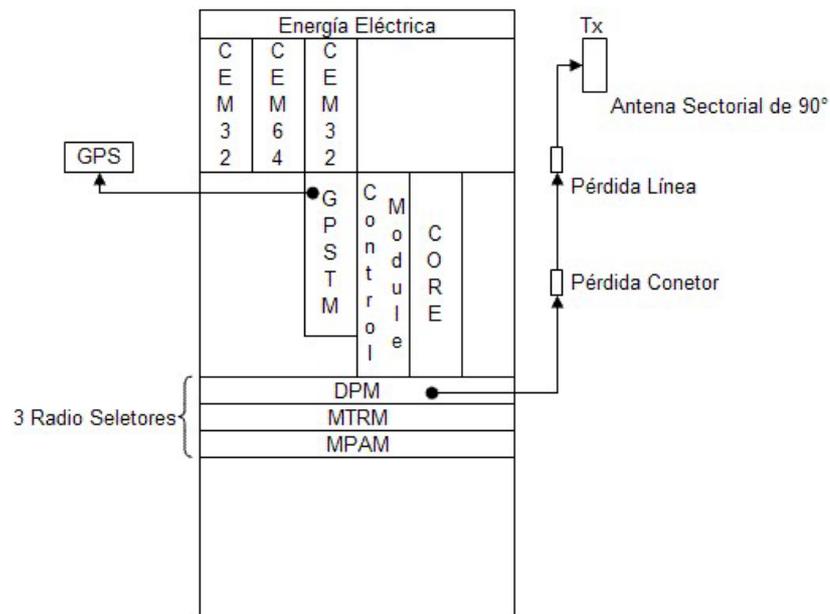
- Canales Pilotos
- Canales de Sincronización
- Canales de Paging.
- Forward Channels
- Reverse Channels

Los Canales se distribuyen en 1 canal Piloto, 1 Canal de Sincronización, 6 Canal Paging, de todos los canales disponibles en estos 8 canales ya están reservados para cumplir cada una de sus funciones para establecer la comunicación, quedando así los canales restantes para los Forward Channels y Reverse Channels es decir para los canales de Tráfico.

EQUIPOS PARA ESTACIONES BASES

Una estación Base consta de los siguientes módulos:





Módulo de Control.- Este módulo se compone de la BTSI y BTSC, la BTSI recibe los E1 del enlace de radio con la MSC; y la BTSC genera la parte de control.



Módulo de GPSTM.- Este módulo genera señal de sincronismo GPS.

CORE.- Módulo de conmutación de señales entre dispositivos de la BTS.

CEM. Módulo de Elementos de Canal, módulo que asigna los recursos de canales para la BTS.

Radio Sectores.- Cada BTS consta con 3 radios sectores donde cada uno contiene:

MTRM: Convierte señal eléctrica en RF.

MPAM: Amplifica señal RF.

DPM: Duplexor

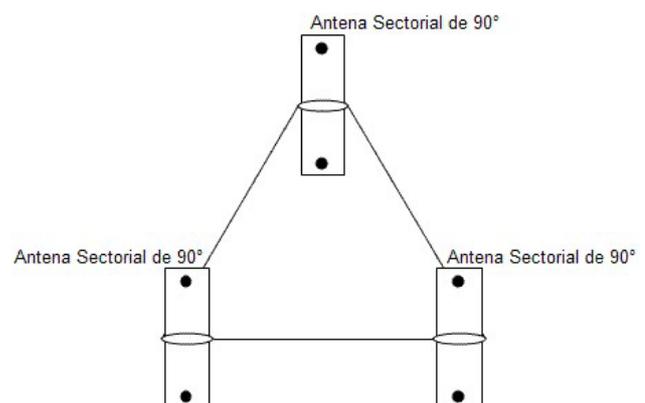
Equipos de Instalación

Entre los equipos de Instalación tenemos:

Torres de Antenas

Juego de Antenas Sectorizadas. Considerando: Ganancia, Apertura de Antena, Grado Eléctrico.

Luz de Balisa, indicadores de ubicación de Estaciones Bases.



Equipos de Alimentación Eléctrica

Los Equipos de Alimentación Eléctrica constan de: Tablero de Transferencia, Generador AC, Tablero de Distribución de Breakers, Banco de Rectificadores y un Banco de Baterías como fuente alterna de energía, en caso de contingencia.



Radio enlaces hacia la MSC

Equipos de Radio enlaces punto a punto de cada BTS hacia la MSC.





Margen de Sensibilidad.

El nivel de Sensibilidad que es para la BTS tiene como límites un valor límite mínimo de -100 dBm y un valor máximo de 30 dBm.

El nivel de sensibilidad para la terminal móvil que es el mínimo nivel con el que el usuario puede establecer una llamada es de mínimo -110 dBm y un valor máximo de recepción de -50 dBm.



ANEXO D

Resultados de las Situaciones

Sistema Espectro Ensanchado Secuencia Directa con Expansión posterior a la Modulación

Frecuencia RF: 2.48GHz

Datos: 100000

Frecuencia de datos: 1MHz

Código: Walsh

Ts/Tc = 4

dB	BER
3	0,0232
3,5	0,0183
4	0,0135
4,5	0,0101
5	0,0068
5,5	0,0041
6	0,0021
6,5	0,001
7	0,0005
7,5	0,0002
8	0,0001
8,5	0,00004
9	0,00002
9,5	0,00001
10	0,000005

Ts/Tc = 4

# sistemas que interfieren	BER
1	0,21
2	0,25
3	0,29
4	0,32
5	0,33

Sistema Espectro Ensanchado Salto de Frecuencia

Frecuencia RF: 2.48GHz

Datos: 100000

Frecuencia de datos: 66KHz

Código: números aleatorios

dB	BER
3	0,1474
3,5	0,1304
4	0,1102
4,5	0,0951
5	0,07436
5,5	0,0582
6	0,04363
6,5	0,03275
7	0,02119
7,5	0,01343
8	0,00898
8,5	0,00478
9	0,00298
9,5	0,00134
10	0,00038

# sistemas que interfieren	BER
1	0,15949
2	0,18314
3	0,19479
4	0,20565
5	0,20852

BIBLIOGRAFIA

1. JACK P.F. GLAS, On the Multiple Access Interference in a DS/FFH Spread Spectrum Communication system, Delft University of Technology
2. WILLIAN STALLING, Data and Computer Communications, Prentice Hall, Inc 1996, 5ta edición.
3. Olivier BERDER, Céline BOUDER, Gilles BUREL; Identification of Frequency Hopping Communications; Université de Bretagne Occidentale
4. HERNÁNDO RABANOS JOSÉ MARÍA, Sistemas de Comunicación Móvil, Prentice Hall.
5. Direcciones Electrónicas:
<http://computer.org/Proceedings/ssap/7576/75760152abs.htm>
<http://ewh.ieee.org/r10/bombay/news2/story10.htm>
<http://www.sss-mag.com/ss.html>
<http://www.sss-mag.com/sstech.html>

http://lovecraft.die.udec.cl/Redes/disc/trabajos_ax253/qexss-f.htm

<http://murray.newcastle.edu.au/users/staff/eemf/ELEC351/SProjects/Morris/applic.htm>

<http://www.mathworks.com>

<http://www.conatel.gov.ec/Rspread.htm>

<http://www.conatel.gov.ec/espanol/servicios/servicios.html>

<http://www.enteregulador.gob.pa/telecom/servicios.asp>

http://lovecraft.die.udec.cl/Redes/disc/trabajos_ax253/qexss-f.htm

<http://www.gigatronic.net/articulos/lmds5.htm>

<http://quantum.ucting.udg.mx/~nda67662/capitulo1.html>

<http://proton.ucting.udg.mx/home/marianop/web-docs/celular.html>

<http://www.icomun.com/Tutorial802.11.html>

<http://www.sss-mag.com/ss.html>

<http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/apuntes/sistcom/capitulo2pagina1.html>

<http://www.controlp.com>

http://www.isp-planet.com/fixed_wireless/business/fw_101.html

<http://www.iusacell.com.mx>

<http://www.enteregulador.gob.pa/telecom/servicios.asp>

<http://www.enteregulador.gob.pa/telecom/servicios.asp>

http://www.terra.es/personal2/mayo_soft/8.htm

http://people.deas.harvard.edu/~jones/es151/prop_models/propagation.html

http://www.zytrax.com/tech/wireless/fh_ds.htm

<http://www.data-linc.com/articles/ieeepapr.htm>