



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ESTRATEGIAS PARA APLICACIÓN DE RECURSOS DE LA RED CELULAR 2G PARA
MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA RED CELULAR 3G Y DEL SERVICIO DE TELEFONÍA
CELULAR**

Eduardo Xavier Alejandro Bonilla Aldana
Asesorado por el Ing. Julio César Solares Peñate

Guatemala, marzo de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTRATEGIAS PARA APLICACIÓN DE RECURSOS DE LA RED CELULAR 2G PARA
MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA RED CELULAR 3G Y DEL SERVICIO DE TELEFONÍA
CELULAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDUARDO XAVIER ALEJANDRO BONILLA ALDANA
ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carvallo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTRATEGIAS PARA APLICACIÓN DE RECURSOS DE LA RED CELULAR 2G PARA
MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA RED CELULAR 3G Y DEL SERVICIO DE TELEFONÍA
CELULAR,**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 1 de junio de 2009.

Eduardo Xavier Alejandro Bonilla Aldana



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 11 de octubre de 2010

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Guzmán:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "ESTRATEGIAS PARA APLICACIÓN DE RECURSOS DE LA RED CELULAR 2G PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA RED CELULAR 3G Y DEL SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR", desarrollado por el estudiante Eduardo Xavier Alejandro Bonilla Aldana, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Asesor





Ref. EIME 13.2010
Guatemala, 05 de NOVIEMBRE 2010.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"ESTRATEGIAS PARA APLICACIÓN DE RECURSOS DE LA RED
CELULAR 2G PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA RED
CELULAR 3G Y DEL SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR", del
estudiante, Eduardo Xavier Alejandro Bonilla Aldana, que cumple
con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica

CEGS/sro



REF. EIME 04. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; EDUARDO XAVIER ALEJANDRO BONILLA ALDANA titulado: "ESTRATEGIAS PARA APLICACIÓN DE RECURSOS DE LA RED CELULAR 2G PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA RED CELULAR 3G Y DEL SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR", procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero



GUATEMALA, 14 DE ENERO 2,011.



DTG. 136.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ESTRATEGIAS PARA APLICACIÓN DE RECURSOS DE LA RED CELULAR 2G PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA RED CELULAR 3G Y DEL SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR**, presentado por el estudiante universitario **Eduardo Xavier Alejandro Bonilla Aldana**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 20 de marzo de 2012.

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Fuente eterna de poder, amor y sabiduría
Mis padres	Eduardo Bonilla Porras y Araceli Aldana de Bonilla, con amor filial, y como reconocimiento a su esfuerzo irrestricto en mi formación.
Mi esposa	Sofía, con amor y por ser la elegida de mi corazón para compartir la vida.
Mis hermanos y hermanas	Rocío, Mariela, Luis, José y Óscar, con amor fraternal.
Mis abuelos y abuelas	José M. Bonilla Ruano y Pedro Aldana R. (flores sobre sus tumbas) Blanca Rosa Porras y Teresa de J. Marín Con amor y agradecimiento por sus sabios consejos.
Mis padrinos	José M. y Helen y Gustavo y Gina
Todos mis familiares	Con cariño y respeto, en especial a mis tíos: Óscar, Rosa H., Elisa y Blanca Luz.
Mis amigas y amigos en general	Por el favor inapreciable de su amistad.
La Universidad de San Carlos	Crisol de conocimientos y baluarte de mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXXI
OBJETIVOS	XXXIII
INTRODUCCIÓN	XXXV
1. INTRODUCCIÓN A SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN CELULAR.....	1
1.1. Reseña histórica	1
1.1.1. Sistemas de Primera Generación.....	2
1.1.2. Sistemas de Segunda Generación	5
1.1.2.1. Tipos de sistemas de Segunda Generación.	5
1.1.3. Sistemas de Tercera Generación.....	6
1.1.3.1. Tipos de sistemas de Tercera Generación.....	8
2. PRINCIPIOS BÁSICOS Y OPERATIVOS DEL SISTEMA GLOBAL PARA LAS COMUNICACIONES MÓVILES (GSM)	9
2.1. Introducción	9
2.2. Revisión de conceptos básicos	10
2.2.1. Tipos de multiplexación.....	12
2.3. Arquitectura de GSM.....	14
2.3.1. Subsistema de Estación Base (BSS)	15
2.3.2. Subsistema de Manejo y Conmutación (SMSS).....	15
2.3.2.1. Central Celular de Conmutación (MSC).....	15
2.3.2.2. Bases de datos	16
2.3.3. El concepto del canal GSM.....	18
2.3.4. Uso de la frecuencia en GSM	20
2.3.5. Tipos de canales GSM	25

2.3.5.1.	Canales de señalización.....	26
2.3.5.1.1.	Canal de Control de Transmisión.....	27
2.3.5.1.2.	Canal de Corrección de Frecuencia	27
2.3.5.1.3.	Canal de Sincronización.....	27
2.3.5.1.4.	Canal de Llamada.....	27
2.3.5.1.5.	Canal Autónomo Dedicado de Control...	28
2.3.5.2.	Canales de tráfico	28
2.3.5.3.	Tramas de información en GSM.....	29
2.3.6.	Control de potencia en GSM.....	30
2.3.7.	Salto de frecuencias.....	31
2.4.	Radio Servicio General de Paquetes	32
2.4.1.	Introducción	32
2.4.2.	Definición del Radio Servicio General de Paquetes	32
2.4.3.	Análisis técnico de GPRS	33
2.4.4.	Nodo de Soporte de Servicio de GPRS (SGSN).....	34
2.4.5.	Nodo de Soporte de Acceso de GPRS (GGSN).....	34
2.4.6.	Conexión entre SGSN y GGSN	35
2.4.7.	Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM	36
3.	PRINCIPIOS BÁSICOS Y OPERATIVOS DEL SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES (UMTS)	39
3.1.	Introducción.....	39
3.2.	Conceptos básicos	39
3.3.	Arquitectura de UMTS.....	40
3.3.1.	Red de telecomunicaciones	41
3.3.1.1.	Red núcleo (Core)	42
3.3.1.1.1.	Puerta de acceso del medio (MGW)	42
3.3.1.1.2.	Acceso a Función de Cobro (CGF).....	43
3.3.1.2.	Red UTRAN.....	43
3.3.1.2.1.	Controlador de red de radio	44
3.3.1.2.2.	Nodo B	45
3.3.1.3.	Red de transporte.....	45

	3.3.1.3.1.	Interfaz Iub.....	45
	3.3.1.3.2.	Interfaz Iur	46
	3.3.1.3.3.	Interfaz Iu.....	46
	3.3.1.3.4.	Interfaz Uu	46
	3.3.2.	Red de gestión.....	46
3.4.		Principio de operación de WCDMA	47
	3.4.1.	Conceptos básicos	47
	3.4.1.1.	Espectro disperso	47
	3.4.1.2.	CDMA de secuencia directa.....	51
	3.4.2.	Operación de WCDMA	52
	3.4.3.	División por frecuencia.....	58
	3.4.4.	División por tiempo y tramas en WCDMA	59
	3.4.5.	Códigos en WCDMA.....	60
	3.4.5.1.	Códigos de canalización.....	60
	3.4.5.2.	Códigos de mezcla	62
	3.4.6.	Principales canales de WCDMA.....	63
	3.4.6.1.	Canales de transporte	64
	3.4.6.1.1.	Canal dedicado de transporte.....	64
	3.4.6.1.2.	Canales comunes de transporte.....	65
	3.4.6.1.3.	Canales más importantes de señalización.....	65
3.5.		Características especiales de UMTS	66
	3.5.1.	Control de recursos de radio	67
	3.5.2.	Control de ingreso.....	68
	3.5.3.	Control de congestión	68
	3.5.4.	Localización de códigos.....	68
	3.5.5.	Control de potencia	69
	3.5.6.	Control de relevos	70
	3.5.7.	Macrodiversidad.....	70
3.6.		Servicios 3G.....	71
	3.6.1.	Servicios de voz	72
	3.6.2.	Video telefonía.....	73

3.6.3.	Imágenes y multimedia	73
3.6.4.	Voz sobre IP (VOIP).....	74
3.6.5.	Servicios de navegación por <i>internet</i>	74
3.6.5.1.	Acceso a paquetes de alta velocidad	76
3.6.5.1.1.	HSDPA	77
3.6.5.1.2.	HSUPA	80
4.	PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE SERVICIO DE LAS REDES CELULARES	81
4.1.	Introducción.....	81
4.2.	Calidad de servicio (QoS)	82
4.3.	Muestreo de KPI.....	83
4.4.	Accesibilidad	84
4.4.1.	Accesibilidad por tecnología.....	85
4.4.1.1.	Accesibilidad en 2G	85
4.4.1.1.1.	Accesibilidad de TCH.....	85
4.4.1.1.2.	Accesibilidad de SDCCH.....	85
4.4.1.2.	Accesibilidad en 3G	86
4.4.1.2.1.	Accesibilidad de RRC.....	87
4.4.1.2.2.	Accesibilidad de RAB.....	87
4.4.2.	Problemas que afectan la accesibilidad	87
4.4.2.1.	Congestión.....	88
4.4.2.2.	Interferencias y Co-canales	88
4.4.2.3.	Mal funcionamiento de equipo.....	88
4.5.	Retenibilidad	89
4.5.1.	Retenibilidad por tecnología	89
4.5.1.1.	Retenibilidad en 2G.....	90
4.5.1.1.1.	Retenibilidad de TCH	90
4.5.1.1.2.	Retenibilidad de SDCCH.....	90
4.5.1.2.	Retenibilidad en 3G.....	91
4.5.2.	Problemas que afectan la retenibilidad	91
4.5.2.1.	Bajos niveles de señal	92

	4.5.2.2.	Interferencia	92
	4.5.2.3.	Congestión.....	93
	4.5.2.4.	Planificación inadecuada de vecindades	93
	4.5.2.5.	Daño en equipo de radio bases.....	93
	4.5.2.6.	Problemas de carga de batería de UE.....	94
4.6.		Integridad	94
	4.6.1.	Integridad en servicios de voz.....	94
	4.6.2.	Integridad de servicios de datos.....	95
	4.6.3.	Factores que afectan la integridad.....	96
4.7.		Movilidad	96
5.		MOVILIDAD EN REDES CELULARES	97
	5.1.	Concepto de movilidad	97
	5.2.	Concepto de HO.....	98
	5.3.	Desarrollo básico del HO	99
	5.4.	Tipos de HO	100
		5.4.1. HO dentro de la celda.....	100
		5.4.2. HO entre frecuencias.....	101
		5.4.3. HO dentro de la misma frecuencia.....	101
		5.4.4. HO duro.....	101
		5.4.5. HO suave.....	102
		5.4.5.1. Macro-diversidad	102
		5.4.6. HO más suave	102
		5.4.7. HO entre tecnología	103
		5.4.8. Procedimiento del IRAT HO	103
		5.4.8.1. Operación del modo comprimido.....	106
		5.4.8.1.1. Método de puncionado.....	107
		5.4.8.1.2. Reducción del SF	108
		5.4.8.1.3. Organización de capas superiores.....	108
5.5.		Grupos de celdas durante el HO.....	108

6.	TÉCNICAS DE MANEJO DE IRAT HO PARA UN BUEN DESEMPEÑO DE REDES CELULARES DE SEGUNDA Y TERCERA GENERACIÓN	111
6.1.	Introducción.....	111
6.2.	Superposición de redes celulares.....	111
6.3.	Mejoras esperadas con el análisis de IRAT HO.....	113
6.4.	Tipos de celdas según sus condiciones de vecindad	113
6.4.1.	Celdas núcleo	113
6.4.2.	Celdas de cobertura	114
6.4.3.	Celdas frontera	114
6.5.	Valores de medición de condiciones de radio	115
6.5.1.	Valores de medición de intensidad de señal	115
6.5.1.1.	Nivel de señal recibida	115
6.5.1.2.	Potencia de código de señalización recibida	115
6.5.2.	Valores de medición de calidad de señal.....	116
6.5.2.1.	Calidad de señal recibida.....	116
6.5.2.2.	Relación de señal a piso de ruido	116
6.6.	Parámetros iniciales recomendados.....	117
6.6.1.	Activación de IRAT HO	117
6.6.2.	Direccionamiento del IRAT HO	118
6.6.3.	Valores usuales medidos para la activación del CM.....	119
6.6.4.	Porcentajes de cobertura por tipo de celda.....	120
6.7.	Técnicas de IRAT HO para mejorar KPI	121
6.7.1.	Análisis Estadístico Preliminar	121
6.7.2.	Técnicas para mejorar la retenibilidad	122
6.7.2.1.	Adelanto del CM y del IRAT HO	122
6.7.2.2.	Atraso del CM y del IRAT HO	123
6.7.2.3.	Borrado intencional de celdas de vecindad	123
6.7.2.4.	Activación de propiedades específicas no indispensables.....	124
6.7.3.	Técnicas para mejorar la accesibilidad	125
6.7.3.1.	Separación de Optimización para voz y para datos....	126
6.7.3.2.	Parámetros de calidad de red más estrictos	126

6.7.3.3.	Activación de propiedades específicas no indispensables	127
6.8.	Estudio de un caso particular	128
6.8.1.	Antecedentes	129
6.8.2.	Medición y análisis del problema	130
6.8.3.	Desarrollo e implementación de solución	133
6.8.4.	Resultados finales	135
CONCLUSIONES		139
RECOMENDACIONES		141
BIBLIOGRAFÍA		143
APÉNDICES		145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Representación de una celda individual	3
2.	Grupo de celdas	4
3.	Concepto de multiplexación	12
4.	Representación de distintos tipos de multiplexación	14
5.	Estructura del canal GSM	19
6.	Re-uso de canales de frecuencia en una red GSM	21
7.	Tramas de la red GSM	30
8.	Diagrama de componentes de red GSM-GPRS	35
9.	Diagrama de componentes de red UMTS	41
10.	Salto de frecuencia	50
11.	Espectro extendido de secuencia directa	50
12.	Conversión a espectro extendido	53
13.	Expansión y recuperación de señales de WCDMA	55
14.	Detalle de expansión y recuperación de señal mediante código	57
15.	Tramas de tiempo en WCDMA	59
16.	Principio del árbol OVSF	61
17.	Código de mezcla para reconocimiento de origen de transmisión	63
18.	Características de UMTS	67
19.	Ejemplo gráfico del relevo o <i>handover</i>	98
20.	Secuencia paso a paso de IRAT HO	104
21.	Clasificación de celdas por relación de HO	114
22.	Ubicación geográfica del tramo con problemas de red	128

23.	Ubicación de las radio bases que brindan cobertura	129
24.	Cobertura en 3G	131
25.	Niveles de señal en 3G	131
26.	Calidad de señal en 3G	132
27.	Cobertura combinada GSM – UMTS	135
28.	Nivel de señal GSM – UMTS	136
29.	Calidad de señal GSM – UMTS	136
30.	Comportamiento combinado de las celdas intervenidas, antes y después del cambio	137

TABLAS

I.	Frecuencias y ARFCNs que conforman las bandas de GSM	23
II.	Operaciones para obtener frecuencias centrales de ARFCN en GSM	24
III.	Principales diferencias entre DSCH y HS-DSCH	77
IV.	Tasas de velocidad teóricas para cada formato de transporte y combinación de recursos	78
V.	Parámetros iniciales recomendados para controlar el IRAT HO 3G 2G	119
VI.	Parámetros especiales seleccionados para controlar IRAT HO de 3G hacia 2G en el tramo carretero hacia San Lucas Sacatepéquez	134

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$a_1..a_n$	Áreas de figuras geométricas
AICH	Canal de indicador de señalización
$C_{1,1}.. C_{n,n}$	Codigos OVSF
Db	Decibel
DBm	Decibel miliwatt
\$	Dólar
$e_1..e_n$	Energía
F_c	Frecuencia Portadora
Kbps	Kilobits por segundo
KHz	Kilohertz
Mbps	Megabits por Segundo

MHz	Megahertz
μs	Micro segundo
Ms	mili segundo
%	Porcentaje
Q	Quetzales
c(t)	Secuencia codificada de pseudo ruido
c₁(t)..c_n(t)	Secuencias codificadas de pseudo ruido
S	Segundos
m(t)	Señal de Mensaje
s(t)	Señal Modulada
f(t)	Señal Moduladora
m₁(t)..m_n(t)	Señales de Mensaje
s₁(t)..s_n(t)	Señales Moduladas
f₁(t)..f_n(t)	Señales Moduladoras
2G	Tecnología celular de Segunda Generación

3G	Tecnología celular de Tercera Generación
3.75G	Tecnología intermedia entre 3.5G y la Cuarta tecnologías
2.5G	Tecnología intermedia entre la Segunda y Tercera tecnologías
3.5G	Tecnología intermedia entre la Tercera y Cuarta tecnologías
T	Tiempo
t₀..t_n	Tiempos hasta t _n

GLOSARIO

16QAM	Siglas de <i>16 Quadrature Amplitude Modulation</i> , Modulación de Amplitud en Cuadratura 16.
Abonado	Nombre con que se conoce en las telecomunicaciones celulares al usuario final del sistema.
Accesibilidad	Propiedad de la red de Telecomunicaciones de Brindar Acceso a la misma cada vez que sea solicitado.
AM	Siglas de Amplitud Modulada.
AMPS	Siglas de <i>Advanced Mobile Phone System</i> , Sistema Avanzado de Telefonía Móvil.
AMR	Siglas de <i>Adaptive Multi Rate</i> , Compresión Adaptiva de Multi Tasa.
Analógico	Sistema de almacenar la información en forma de voltajes eléctricos variables y continuos sin utilizar códigos electrónicos.
Antena	Dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

ARFCN	Siglas de <i>Absolute Radio Frequency Channel Number</i> , Número Absoluto de Canal de Radio Frecuencia.
ARP	Siglas de <i>Automobile Radio Phone</i> , Radio Teléfono para Automóvil.
BCCH	Siglas de <i>Broadcast Control Channel</i> , Canal de Control de Transmisión.
BCH	Siglas de <i>Broadcast Channel</i> , Canal de Transmisión.
BER	Siglas de <i>Bit Error Rate</i> , Tasa de Error de Bit.
Binario	El sistema binario, en matemáticas e informática, es un sistema de numeración en el que los números se representan utilizando solamente las cifras cero y uno (0 y 1). Término aplicado a una señal o dispositivo que tiene sólo dos posiciones o estados discretos. Cuando es usado en su forma más simple, como en “señal binaria” (lo que es opuesto a señal analógica), el término denota un estado de “encendido-apagado” o de “alto-bajo”.
Bit	Unidad mínima teórica de intercambio o almacenamiento de información, correspondiente a un dígito binario (cero o uno), que puede identificarse con un valor booleano (falso o verdadero); Espacio lógico necesario para almacenar un valor binario en una memoria de ordenador.
BLER	Siglas de <i>Block Error Rate</i> , Tasa de Error de Bloque.
BSC	Siglas de <i>Base Station Controller</i> , Controlador de Estación Base.

BSIC	Siglas de <i>Base Station Identity Code</i> , Código de Identidad de Estación Base.
BSS	Siglas de <i>Base Station Subsystem</i> , Subsistema de Estación Base.
BTS	Siglas de <i>Base Transceiver Station</i> , Estación Base de Transcepción.
Canal	Medio a través del cual se transmite información de un lugar a otro. Un canal de comunicación es el medio de transmisión por el que viajan las señales portadoras de la información que pretenden intercambiar emisor y receptor.
CDM	Siglas de <i>Code Division Multiplexion</i> , Multiplexación por División de Código.
CDMA	Siglas de <i>Code Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Código.
Celda	En las telecomunicaciones, es un área de cobertura estipulada para receptores o transmisores que pertenecen a la misma estación base.
Celular	Teléfono móvil personal que tiene como única finalidad la comunicación entre sí de los individuos. Comunicación celular es una tecnología de comunicaciones inalámbricas en la que las áreas de comunicación se dividen en pequeñas áreas llamadas celdas y en las que las transmisiones pasan de celda a celda hasta que llegan a los destinatarios.

Chip	Es el nombre que se le da a un bit después del proceso de codificación y dispersión en WCDMA.
CM	Siglas de <i>Compress Mode</i> , Modo de Compresión.
Codificar	En telecomunicaciones, dicese del proceso de modificación de una señal de entrada de tal manera que la resultante reúna características que la hacen más apropiada para transmitirse en un medio, con la condición de que a la misma pueda aplicarse posteriormente un método definido de recuperación que de como resultado la señal original.
Congestión	Fenómeno en el cual el número de usuarios de una red exceda el valor teórico máximo para el cual la misma fue diseñada.
Core	Es la parte central de una red de telecomunicaciones, la cual provee varios servicios a los usuarios conectados a ella a través de una red de acceso; en ella se realizan tareas como la del enrutamiento de la comunicación.
CPCH	Siglas de <i>Common Physical Control Channel</i> , Canal Físico Común de Control.
CPICH	Siglas de <i>Common Pilot Channel</i> , Canal Piloto Común.
CS	Siglas de <i>Circuit Switched</i> , Conmutación de Circuito.
D-AMPS	Siglas de <i>Digital Advanced Mobile Phone System</i> , Sistema Digital Avanzado de Telefonía Móvil.

DCH	Siglas de <i>Dedicated Transport Channel</i> , Canal Dedicado de Transporte.
Digital	Tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético en que cada signo que codifica el contenido de la misma puede ser analizado en término de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango.
<i>Downlink</i>	Trayectoria de transmisión de una radio base (sitio de la celda) a la estación móvil (teléfono celular).
DS CDMA	Siglas de <i>Direct Sequence Code Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Código de Secuencia Directa.
DSCH	Siglas de <i>Downlink Shared Channel</i> , Canal Compartido de <i>Downlink</i> .
DSSS	Siglas de <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> , Espectro Extendido de Secuencia Directa.
Dúplex	Sistema que es capaz de mantener una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea.
EcNo	Siglas de la relación Energía del Canal a Piso de Ruido.
E-DCH	Siglas de <i>Enhanced Dedicated Channel</i> , Canal Dedicado Mejorado.

EDGE	Siglas de <i>Enhanced Data rates for GSM of Evolution</i> , Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM.
FACH	Siglas de <i>Forward Access Channel</i> , Canal de Acceso Adelantado.
FCCH	Siglas de <i>Frequency Correction Channel</i> , Canal de Corrección de Frecuencia.
FDM	Siglas de <i>Frequency Division Multiplexion</i> , Multiplexación por División de Frecuencia.
FDMA	Siglas de <i>Frequency Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Frecuencia.
FM	Siglas de Frecuencia Modulada.
Frecuencia	Medida que se utiliza generalmente para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo. Para una función periódica, el número de ciclos o eventos por unidad de tiempo.
FSK	Siglas de <i>Frequency Shift Keying</i> , Modulación por Desplazamiento de Frecuencia.
FTCR	Siglas de Formato de Transporte y Combinación de Recursos.
Full Rate	Modo de operación de la red en la cual se envía un único mensaje a través de una trama.

GGSN	Siglas de <i>Gateway GPRS Support Node</i> , Nodo de Soporte de Acceso de GPRS.
GMSK	Siglas de <i>Gaussian Minimum Shift Keying</i> , Modulación Gausiana por Desplazamiento Mínimo de Fase.
GPRS	Siglas de <i>General Packet Radio Service</i> , Radio Servicio General de Paquetes.
GPS	Siglas de <i>Global Positioning System</i> , Sistema de Posicionamiento Global.
Granularidad	Frecuencia con la cual se le define a un sistema que proporcione datos de desempeño del mismo.
GSM	Siglas de <i>Global System for Mobile Communication</i> , Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.
Half Rate	Modo de operación de la red en la cual se envían dos mensajes distintos utilizando una trama.
Handover	Sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente.
Hardware	Todas las partes físicas y tangibles de un dispositivo. Componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos; sus cables, gabinetes o cajas, periféricos de todo tipo y cualquier otro elemento físico involucrado.

HARQ	Siglas de <i>Hybrid Automatic Repeat Request</i> , Solicitud Repetitiva Automática Híbrida.
HLR	Siglas de <i>Home Localization Register</i> , Registro de Localización Local.
HO	Siglas de Handover.
HSDPA	Siglas de <i>High Speed Download Packet Access</i> , Acceso a Bajada de Paquetes de Alta Velocidad.
HS-DSCH	Siglas de <i>High Speed Downlink Shared Channel</i> , Canal de <i>Downlink</i> Compartido de Alta Velocidad.
HSPA	Siglas de <i>High Speed Packet Access</i> , Acceso a Paquetes de Alta Velocidad.
HSUPA	Siglas de <i>High Speed Upload Packet Access</i> , Acceso a Subida de Paquetes de Alta Velocidad.
IMEI	Siglas de <i>International Mobile Equipment Identity</i> , Identidad Internacional de Equipo Móvil.
IMSI	Siglas de <i>International Mobile Subscriber Identity</i> , Identidad Internacional de Usuario de Móvil.
IMTS	Siglas de <i>Improved Mobile Telephone System</i> , Sistema Mejorado de Telefonía Móvil.

Integridad	Garantía de la exactitud de la información frente a la alteración, pérdida o destrucción, ya sea de forma accidental o fraudulenta. Propiedad de una red de telecomunicaciones de proporcionar el mensaje original enviado sin alteraciones hasta su destinatario final. Calidad que la red puede ofrecer al usuario mientras alguno de los servicios ofrecidos está en uso.
Interferencia	Cualquier proceso que altera, modifica o destruye una señal durante su trayecto en el canal existente entre el emisor y el receptor.
IP	Siglas de <i>Internet Protocol</i> , Protocolo de <i>Internet</i> .
IRAT HO	Siglas de <i>Inter Radio Access Technology Handover</i> , Handover entre Tecnología de Acceso de Radio.
IS-95	Siglas de <i>Interim Standard 95</i> , Estándar Interno 95.
ITU	Siglas de <i>International Telecommunication Union</i> , Unión Internacional de Telecomunicaciones.
Iu	Interfaz Lógica entre la red UTRAN y el <i>Core</i> .
Iub	Interfaz de comunicación entre Nodo B y RNC.
Iur	Interfaz de comunicación entre RNC.
KPI	Siglas de <i>Key Performance Indicator</i> , Indicador Clave de Desempeño.

LAC	Siglas de <i>Location Area Code</i> , Código de Área de Localización.
Macrodiversidad	Característica de una red de telecomunicaciones que permite a una estación móvil (teléfono celular) conectarse a más de una celda para transmitir y recibir información.
MGW	Siglas de <i>Media Gateway</i> , Puerta de Acceso del Medio.
MMS	Siglas de <i>Multimedia Messaging System</i> , Sistema de Mensajería Multimedia.
Modular	Que está compuesto de partes (módulos) que se repiten en una construcción o proceso de cualquier tipo.
MOS	Siglas de <i>Mean Opinion Score</i> , Nota Media de Opinión.
Movilidad	Posibilidad de desplazarse personas, mercancías e información libremente. Propiedad de la red de brindar el servicio deseado sin importar que el usuario se movilice de un lugar a otro dentro del área de cobertura.
MSC	Siglas de <i>Mobile Switching Center</i> , Central Celular de Conmutación.
MSS	Siglas de <i>Mobile Switching Center Server</i> , Servidor de Central Celular de Conmutación.
Multimedia	Término utilizado para referirse a cualquier objeto o sistema que utiliza múltiples medios de expresión (físicos o digitales) para presentar o comunicar información.

Multiplexación	Combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión usando un dispositivo llamado multiplexor.
Nodo B	Nombre dado a una estación base en UMTS.
OMSS	Siglas de <i>Operation and Maintenance Subsystem</i> , Subsistema de Manejo y Operación.
Ortogonalidad	Propiedad de dos o más funciones (señales) para las cuales su producto escalar es nulo.
OVSF	Siglas de <i>Orthogonal Variable Spreading Function</i> , Función Ortogonal Variable de Dispersión.
Paging	Se refiere a todo procedimiento que permite a un usuario hacer llegar a uno o varios usuarios determinados (ej. telefonía) o eventuales (ej. radio, televisión), información de cualquier naturaleza. Método de mantener en ubicación temporal a un dispositivo terminal dentro de una red de telecomunicaciones.
PAM	Siglas de <i>Pulse Amplitud Modulation</i> , Modulación por Amplitud de Pulso.
PCH	Siglas de <i>Paging Channel</i> , Canal de Llamada.
PCM	Siglas de <i>Pulse Code Modulation</i> , Modulación por Código de Pulso.
PCU	Siglas de <i>Packet Control Unit</i> , Unidad Controladora de Paquetes.

PDC	Siglas de <i>Personal Digital Cellular System</i> , Sistema Celular Personal.
PESQ	Siglas de <i>Perceptual Evaluation of Speech Quality</i> , Evaluación Perceptual de Calidad de Habla.
PN	Siglas de <i>Pseudo Noise</i> , Pseudo Ruido.
PS	Siglas de <i>Packet Switched</i> , Conmutado en Paquetes.
PSK	Siglas de <i>Phase Shift Keying</i> , Modulación por Desplazamiento de Fase.
QoS	Siglas de <i>Quality of Service</i> , Calidad de Servicio.
Q-PSK	Siglas de <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> , Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura.
RAB	Siglas de <i>Radio Access Bearer</i> , Portadora de Acceso de Radio.
RACH	Siglas de <i>Random Access Channel</i> , Canal de Acceso Aleatorio.
RAN	Siglas de <i>Radio Access Network</i> , Red de Acceso de Radio.

Retenibilidad	Propiedad de la red para que un servicio, una vez obtenido, se mantenga hasta que el usuario así lo determine, siempre y cuando se cumpla una serie de condiciones dadas, como autorización por parte de la compañía al tipo de servicio solicitado, saldo suficiente para realizar dicho servicio por el tiempo solicitado, batería de la UE suficiente para mantener el servicio el tiempo requerido, entre otros.
RF	Siglas de Radio Frecuencia.
RNC	Siglas de <i>Radio Network Controller</i> , Controlador de Red de Radio.
RNS	Siglas de <i>Radio Network Subsystem</i> , Subsistema de Red de Radio.
RRC	Siglas de <i>Radio Resources Controller</i> , Controlador de Recursos de Radio.
RSCP	Siglas de <i>Received Signal Code Power</i> , Potencia de Código de Señalización Recibida.
RxLev	Parámetro de medición de la intensidad de la señal ofrecida en <i>downlink</i> por la red GSM.
RxQual	Parámetro de medición de la calidad de la señal ofrecida en <i>downlink</i> por la red GSM.
SC	Siglas de <i>Scramling Codes</i> , Códigos de Mezcla.
SCH	Siglas de <i>Synchronization Channel</i> , Canal de Sincronización.

SDCCH	Siglas de <i>Stand Alone Dedicated Control Channel</i> , Canal Autónomo Dedicado de Control.
SF	Siglas de <i>Spreading Factor</i> , Factor de Dispersión.
SGSN	Siglas de <i>Serving GPRS Support Node</i> , Nodo de Soporte de Servicio de GPRS.
SIM	Siglas de <i>Subscriber Identity Module</i> , Módulo de Identidad de Subscriptor.
Simplex	Transmisión de datos que se realiza en un único sentido, desde una estación emisora a una estación receptora.
SIR	Siglas de <i>Signal to Interference Relation</i> , Relación de Señal a Interferencia.
SMS	Siglas de Short Message Service, Servicio de Mensajes Cortos.
SMSS	Siglas de <i>Switching Management Subsystem</i> , Subsistema de Manejo y Conmutación.
Software	Equipamiento lógico o soporte lógico de un dispositivo, comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios para hacer posible la realización de tareas específicas.
SQI	Siglas de Speech Quality Index, Índice de Calidad de Habla.
SS	Siglas de <i>Spread Spectrum</i> , Espectro Disperso.

TCH	Siglas de <i>Transport Channel</i> , Canal de Transporte.
TDM	Siglas de <i>Time Division Multiplexing</i> , Multiplexación por División de Tiempo.
TDMA	Siglas de <i>Time Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Tiempo.
Transcoder	Dispositivo utilizado para la conversión digital-digital de una forma de codificación de señal a otra.
Ts	Siglas de <i>Time Slot</i> , Período de Tiempo.
TTI	Siglas de <i>Transition Time Interval</i> , Intervalo de Tiempo de Transición.
UE	Siglas de <i>User Equipment</i> , Equipo de Usuario.
UMTS	Siglas de <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> , Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.
<i>Uplink</i>	Trayectoria de transmisión de una estación móvil (teléfono celular) a una radio base (sitio de la celda).
UTRAN	Siglas de <i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i> , Red de Acceso Terrestre de Radio UMTS.
Uu	Nombre de la Interfaz de Aire de UMTS.

VLR	Siglas de <i>Visitor Localization Register</i> , Registro de Localización de Visitante.
VOIP	Siglas de Voz sobre IP.
WCDMA	Siglas de <i>Wideband Code Division Multiple Access</i> , Múltiple Acceso por División de Código de Banda Ancha.

RESUMEN

Este trabajo de graduación ha sido diseñado para llevar al lector de una manera progresiva hacia el tema de optimización de la red de Tercera Generación UMTS, mediante la utilización de recursos de la red de Segunda Generación GSM, estructurándose como se explica a continuación:

Enfoca en su primer capítulo la información general de los sistemas de comunicación celular, la cual es necesaria para posicionar al mismo en el ámbito general en el que se desarrolla el documento.

Tanto el segundo como el tercer capítulo refuerzan los conocimientos técnicos generales, así como las formas de diseño y como implementar las tecnologías de Segunda y Tercera Generación, GSM y UMTS, respectivamente, haciendo siempre hincapié en los temas de los cuales se necesita un conocimiento más detallado para el entendimiento de las técnicas de optimización de redes.

Una vez presentadas ambas tecnologías, en el cuarto y en el quinto capítulos se tratan los parámetros más importantes, que se han utilizado en la evaluación del correcto desempeño y la calidad de una red de comunicación celular, separados en dos capítulos, ya que el tema tratado en el quinto, es crucial para el entendimiento de las técnicas de optimización presentadas en el trabajo de graduación, por lo que se les ha dado un trato más extenso.

Finalmente, en el capítulo seis, ya brindada la información necesaria en cuanto a desempeño y medición de parámetros de calidad, se presentan las distintas técnicas y valores utilizados para mejorar el desempeño de la red UMTS, utilizando para ello recursos de la red GSM.

Dichas técnicas están orientadas a mejorar algunos de los siguientes parámetros de calidad de servicio de red: retenibilidad, accesibilidad, integridad y movilidad. Y a manera de conclusión del trabajo, se presenta a continuación como ejemplo, un problema de red solucionado mediante la implementación de una de las técnicas presentadas anteriormente.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio acerca de las tecnologías de Segunda y Tercera Generación (GSM y UMTS, respectivamente) en las que actualmente se basan las redes de comunicación celular en Guatemala; enfocándose en presentar las características que hacen posible a éstas operar de una forma combinada en beneficio de los servicios ofrecidos a los usuarios de las mismas. A manera de sacar provecho a una tecnología que aún está lejos de considerarse obsoleta.

Específicos

1. Ampliar el conocimiento general de las formas de operación de las tecnologías celulares GSM y UMTS.
2. Introducir al lector al conocimiento de los principales problemas que presentan actualmente las redes de comunicación general, específicamente aquellos que se podrían resolver utilizando estrategias basadas en el uso de redes distintas, pero operando en forma combinada.
3. Fortalecer el concepto de la utilización de redes de generaciones anteriores, como herramientas auxiliares en la mejora del desempeño de redes de generaciones más recientes.

4. Presentar argumentos sólidos que validen la toma de decisiones en cuanto a la estrategia de optimización, utilizando la red GSM para mejorar UMTS y el servicio de telefonía celular en general.

5. Presentar estrategias para lograr una mejor interrelación en las áreas en las que redes basadas en distintas tecnologías funcionan de manera conjunta.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas celulares de Tercera Generación, conocidos como 3G, están diseñados para comunicación en multimedia: con ellos, la comunicación “persona a persona” puede ser mejorada con imágenes de alta calidad y de video; a la vez, el acceso a información y servicios tanto en redes privadas como públicas se realiza a velocidades nunca antes alcanzadas, y representan así mismo, un adelanto con respecto a las tecnologías desarrolladas anteriormente.

Actualmente, en el mundo de las telecomunicaciones celulares, no es extraño que una determinada compañía brinde servicios utilizando para este fin más de una red de manera simultánea; esto es debido a que la transición entre el uso de tecnologías no puede ser inmediata, sino que se trata de un proceso gradual, en el que los usuarios de la tecnología a reemplazar poco a poco van cambiándose a la nueva, hasta que se complete el proceso.

La anterior situación se vive en nuestro país, ya que los sistemas 3G, de reciente lanzamiento, están compartiendo el mercado con los sistemas de Segunda Generación (2G); específicamente el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles conocido por sus siglas en inglés como GSM; que desde hace años ha sido la principal tecnología utilizada en el ámbito de las telecomunicaciones en Guatemala.

Esta “convivencia” de ambos sistemas, constituye una situación a la que los ingenieros de telecomunicaciones deben hacer frente, de tal manera que el hecho de tener dos redes distintas trabajando simultáneamente en una misma área geográfica, y prestando servicios similares sea transparente para los usuarios.

El presente trabajo de graduación se ha diseñado con la finalidad de presentar el modo en el que ambas tecnologías se estructuran de manera que puedan compartir la misma banda de frecuencias, situación bastante común en algunas compañías de telecomunicaciones que buscan implementar una nueva tecnología, y normalmente no logran adquirir permisos para operar en nuevas bandas; lo anterior no deberá, sin embargo, significar la generación de interferencia mutua.

Además, también se tiene como objetivo el proponer, explorar y verificar la posibilidad de nuevas formas de utilización combinada de dichas redes, ya que se puede asegurar que la red GSM tiene todavía varios años de vida útil, y, posiblemente, será capaz de prestar en un futuro un servicio importante como auxiliar de la red 3G.

1. INTRODUCCIÓN A SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN CELULAR

A lo largo de este capítulo se hace un breve repaso de las distintas tecnologías de red que se han desarrollado a través de los años.

El capítulo se inicia con una breve reseña histórica partiendo de los sistemas analógicos de la Primera Generación de tecnologías celulares que, si bien no son parte fundamental de este trabajo de graduación, son el inicio y base de muchas de las características de diseño de las tecnologías más modernas. Dicha reseña toca después aspectos de las tecnologías que competen al trabajo de graduación, a saber: tecnologías digitales de Segunda y Tercera Generación.

Además de la reseña mencionada, se analizan las generalidades de los sistemas digitales de comunicación celular, especialmente los que pueden ser encontrados en nuestro país actualmente, para poder incluir conceptos de diseño de los mismos en los capítulos posteriores.

1.1. Reseña histórica

Se pueden rastrear los inicios de los conceptos de la telefonía celular hasta la década de los cuarenta, donde ya se desarrollaban los conceptos que se utilizarían en las principales tecnologías de red del presente, pero los investigadores estaban limitados al campo teórico debido a la falta de desarrollo tecnológico de la época.

En la década de los sesenta, se contaba con sistemas de comunicación que precedieron a la tecnología celular, que de alguna forma prepararon el camino hacia las tecnologías con las que se cuenta en el presente. Un ejemplo claro de lo anterior lo da el radioteléfono, para el cual existía solamente una antena central en cada ciudad, además de unos pocos canales disponibles para la comunicación, lo que lo hacía útil sólo si el número de usuarios era reducido.

Otro adelanto dado durante esta década fue el de los sistemas selectores de canales automáticos, con lo cual se eliminaba la operación de “oprimir para hablar” (*push to talk*); con lo cual la comunicación se iba pareciendo mucho más al ideal, hablar como si se estuviera haciéndolo frente a frente.

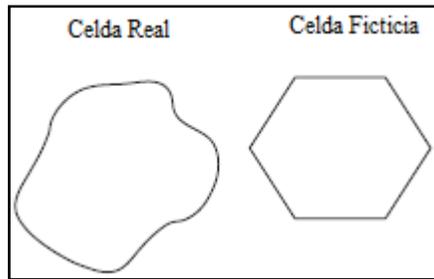
En la década de los setenta la demanda de este tipo de servicios hizo imperativo el encontrar una solución al problema del aprovechamiento del espectro de frecuencias disponible para la comunicación. Es durante esta década que se lanza la primera red pública exitosa de telefonía móvil; conocida como Teléfono de Radio para el Carro (ARP, por sus siglas en finlandés), la cual es considerada como la generación cero (0) de las redes celulares, es decir, la precursora directa de los sistemas de Primera, Segunda y Tercera generaciones.

1.1.1. Sistemas de Primera Generación

Los sistemas comerciales de Primera Generación surgieron en la década de los sesenta, siendo uno de los primeros el Sistema Mejorado de Telefonía Móvil (IMTS por sus siglas en inglés), que ya presentaba características que lo relacionan a un sistema de comunicación en tiempo real. Este, al igual que todos los sistemas de Primera Generación, utilizó como método de acceso a la red el “Acceso Múltiple por División de Frecuencia”, (FDMA por sus siglas en inglés), ya que los otros métodos requieren transmisión digital.

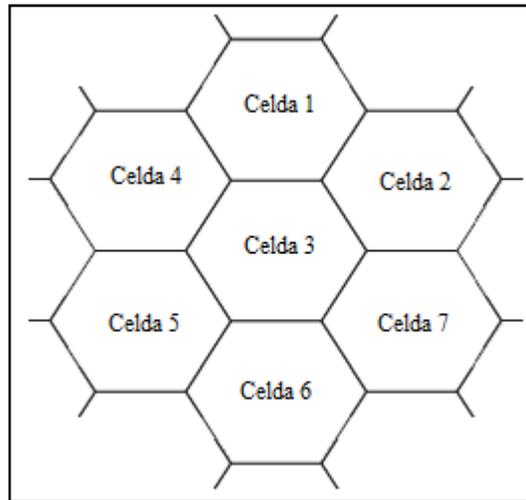
En 1982 surgió el Sistema Avanzado de Telefonía Móvil (AMPS por sus siglas en inglés), inventado por los laboratorios Bell. La importancia del mismo radica en que se empezó a usar el concepto de celdas, que se usa en la actualidad y es la razón del por qué a los teléfonos móviles se les conoce como celulares. La idea era dividir a la región a la que se le quería dar servicio en celdas, cada una de las cuales usa un conjunto de frecuencias que no usan sus vecinas, evitando así la interferencia por teléfonos que se encontraban en celdas contiguas. En las figuras 1 y 2 se puede apreciar la manera de representar una región de cobertura por celdas junto con el concepto de división por celdas.

Figura 1. **Representación de una celda individual**



Fuente: MOSA, Ali Abu-Rgheff. *Introduction to CDMA Wireless Communications*. p. 351.

Figura 2. **Grupo de celdas**



Fuente: MOSA, Ali Abu-Rgheff. *Introduction to CDMA Wireless Communications*. p. 351.

El sistema AMPS también introdujo mejoras en la utilización de potencia para transmitir, con lo que los equipos de comunicación redujeron su tamaño y su precio.

En AMPS por cada celda se tiene una estación base que se encarga de transmitir a todos los teléfonos que se encuentran dentro de ella. Dichas estaciones base son conocidas como Subsistema de Estación Base (BSS por sus siglas en inglés). La BSS se subdivide en el Transmisor de Estación Base (BTS por sus siglas en inglés) y el Controlador de la Estación Base (BSC por sus siglas en inglés).

Cada BSS se conecta con la central para teléfonos móviles donde se encuentran los equipos de conmutación de circuitos y los demás equipos necesarios para poder realizar llamadas de un teléfono celular (abonado) a otro.

En la telefonía basada en AMPS se usan canales dúplex, cada uno compuesto de dos canales simplex, uno utilizado para transmitir información, y el otro para recibir.

Los conceptos anteriormente mencionados son sumamente importantes debido a que los mismos continúan, con algunas modificaciones, siendo parte de los sistemas celulares digitales que competen a este trabajo de investigación.

1.1.2. Sistemas de Segunda Generación

El éxito de los sistemas de Primera Generación fue indiscutible, pero su uso masivo sacó a relucir las deficiencias de los mismos. El espectro de frecuencias utilizado por ellos era, de forma general, insuficiente para soportar la calidad de servicio que se requería. Esta fue la principal razón por la que se decidió realizar una transformación general de operación de las redes celulares, con lo que nacieron los sistemas de Segunda Generación.

La principal característica de estos sistemas es que transmiten la información de manera digital, y no analógica.

En la década de los noventa fue realizada con éxito la primera llamada digital entre teléfonos celulares, con lo que se da inicio a la era de la comunicación celular digital. Surgieron pues, varios sistemas digitales de comunicación celular.

1.1.2.1. Tipos de sistemas de Segunda Generación.

- Sistema Digital Avanzado de Telefonía Móvil (D-AMPS, por sus siglas en inglés), basado en el sistema de Primera Generación AMPS. Dicho sistema prevaleció durante muchos años en América.
- Sistema Celular Personal Digital (PDC, por sus siglas en inglés); el cual es utilizado exclusivamente en Japón.

- Estándar Ínterin 95 (IS-95, por sus siglas en inglés). También conocido como *cdmaOne*, ya que está basado en el método de acceso al canal conocido como Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, por sus siglas en inglés). Dicho estándar es utilizado en los Estados Unidos, aunque ya está siendo desplazado en favor de una actualización del mismo.
- Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM por sus siglas en inglés). Basado en el método de acceso al canal conocido como Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA, por sus siglas en inglés); es sin duda el sistema de Segunda Generación más utilizado alrededor del mundo.

A lo largo del desarrollo del presente trabajo se profundizará de manera más detallada en GSM, ya que es el sistema de Segunda Generación utilizado en Guatemala.

1.1.3. Sistemas de Tercera Generación

El éxito de los sistemas de Segunda Generación es indiscutible, mediante su implementación a lo largo y ancho del mundo se ha logrado que la comunicación de voz de forma inalámbrica alcance dimensiones inimaginables hace apenas algunos años. Además, un número de clientes cada vez mayor ha encontrado un valor agregado en otros servicios de dichas tecnologías, como es el caso de el servicio de mensajes de texto, así como acceso a redes de datos, las cuales han crecido de una manera vertiginosa.

Al igual que durante la transición de los sistemas de Primera a Segunda Generación, fueron estas mismas características exitosas en parte las que hicieron necesario un desarrollo y enfoque distinto en la forma de comunicación inalámbrica, ya que la cada vez mayor demanda de usuarios alrededor del mundo llegó a un punto en el cual las tecnologías de Segunda Generación ya no se están dando abasto.

Además, los sistemas de Segunda Generación no fueron concebidos para tener compatibilidad entre los mismos, y aunque se han hecho esfuerzos para superar esta situación, aún no se resuelve de forma completa.

Los sistemas de Tercera Generación surgieron ante la necesidad expuesta, y fueron diseñados como una puerta de acceso para la comunicación multimedia, es decir, una comunicación persona-persona que puede ser mejorada mediante imágenes de gran calidad y video. Fue también prioridad del diseño de los mismos el posibilitar un acceso móvil a redes de datos a una velocidad nunca antes alcanzada en sistemas celulares.

La iniciativa 3G tuvo dos metas: dar a las redes celulares la capacidad de transportar información a altas velocidades, y la de unificar al mundo en un solo estándar. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés) planeaba tener las redes 3G operacionales para el 2000, sin embargo esto no fue así sino hasta el 2002.

Según las especificaciones de los organismos internacionales, una red 3G debe ser capaz de soportar tasas de velocidad de transmisión de datos desde los 144 Kilobytes por segundo (Kbps) hasta más de 2 Megabytes por segundo (Mbps). Sólo pocas tecnologías son capaces de cumplir con dicho requerimiento, a saber: CDMA, el Sistema Universal para las Comunicaciones Móviles (UMTS, por sus siglas en inglés), así como algunas variantes del GSM.

1.1.3.1. Tipos de sistemas de Tercera Generación

- CDMA2000. Basado en las tecnologías CDMA de generaciones anteriores, este sistema está siendo promovido por el Grupo de Desarrollo de CDMA (CDG, por sus siglas en inglés), y planean hacerlo con pequeñas actualizaciones que gradualmente lleven de las versiones del mismo de Segunda Generación hacia CDMA2000. Entre sus capacidades se puede decir que gracias a su banda de 5 Megahercios es capaz de transportar datos a una velocidad de entre 2 y 4 Mbps
- UMTS. El Sistema Universal para las Telecomunicaciones Móviles, más conocido como UMTS, es un estándar de comunicación inalámbrica, el cual utiliza también una versión de CDMA como interfaz aérea; dicha versión es conocida como CDMA de banda ancha (WCDMA, por sus siglas en inglés). Esta tecnología es considerada como la sucesora en 3G de GSM. Utiliza dos pares de rangos de frecuencias de 5 Megahercios para operar, uno para transmisión y el otro para recepción; aunque no es necesario esta distribución de los canales para su correcto funcionamiento.
- Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM (EDGE, por sus siglas en inglés). Este estándar surgió más como una mejora a las velocidades de transmisión de datos proporcionadas por GSM, que como un salto generacional, por lo que se le considera más como 2.5G que como 3G propiamente hablando.

2. PRINCIPIOS BÁSICOS Y OPERATIVOS DEL SISTEMA GLOBAL PARA LAS COMUNICACIONES MÓVILES (GSM)

2.1. Introducción

Como parte de las tecnologías de Segunda Generación, GSM introdujo varios aspectos innovadores para mejorar la manera de operación del sistema, así como la calidad del servicio prestado a los usuarios. En este capítulo se expondrán con mayor detalle las principales características del mismo.

El principal avance que se tiene en las tecnologías celulares de Segunda Generación es el de la capacidad de transmisión digital de información; esto constituye una ventaja sobre sistemas analógicos, debido a que, si bien es cierto, con tecnologías analógicas es posible proveer muchos de los servicios y tareas que se ofrecen de manera digital, esta última permite modificar procesos con un simple cambio de programación, lo cual aumenta de gran forma la flexibilidad de la misma.

GSM fue desarrollada a principios de los años ochenta; durante los primeros años de dicha década se llevaron a cabo muchísimas discusiones acerca de si convenía que GSM fuera analógica o digital. Finalmente la decisión fue tomada y la investigación y desarrollo de la misma fue encarrilada al ambiente digital. Para 1987 los fundamentos técnicos estuvieron listos, y al año siguiente ya empezó a comercializarse en países de Europa del norte.

GSM es una de las redes más populares y utilizadas en el mundo; opciones como el poder comunicarse con un mismo aparato celular desde fuera del país de origen, mensajes de texto, así como las recargas prepago han contribuido a extender aún más su popularidad.

2.2. Revisión de conceptos básicos

Antes de exponer los principios bajo los cuales opera GSM, es necesario revisar algunos conceptos que son básicos en la comunicación celular. Probablemente el concepto más importante, y al cual se hará referencia constantemente en este trabajo de graduación es el de “canal”; y la forma en que se utiliza este concepto en el mundo de las telecomunicaciones.

En el campo de las comunicaciones, ya sea mediante líneas fijas, así como inalámbricas, se le denomina canal al medio a través del cual viaja una señal desde un determinado origen hacia un también determinado destino. En el mundo de las radio comunicaciones se le puede también describir como un definido rango de frecuencias utilizado para transmitir una señal modulada, la cual contiene información, que va desde un transmisor hasta un receptor.

Es el anterior concepto de canal una de las principales diferencias existentes entre GSM y las anteriores tecnologías. El canal en GSM es un canal digital, lo que significa que la señal que conlleva la información está constituida por un conjunto de caracteres binarios codificados para transmitir dicha información de una manera más efectiva.

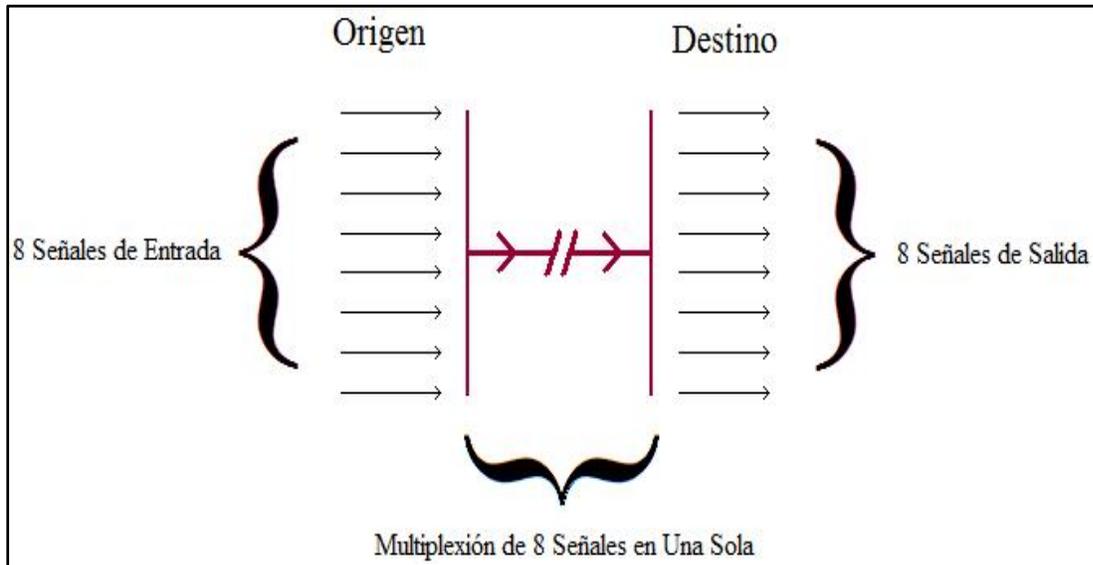
Un concepto que no está de más revisar es el de “*modulación*” de una señal, la cual consiste en transformar o modificar dicha señal de tal forma que no pierda su “significado”, es decir, que no pierda la información que lleva consigo; dicha modificación obedece a una serie de ventajas que la misma ofrece para la transmisión de la información de un punto a otro. En pocas palabras la modulación de una señal facilita la transmisión de la misma de un punto a otro.

Entre los principales sistemas de modulación se pueden mencionar: Modulación de Amplitud Modulada (AM), modulación por Frecuencia Modulada (FM); los anteriores son ejemplos de modulaciones análogas. Como ejemplos de modulaciones digitales podemos mencionar: Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK por sus siglas en inglés), Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK por sus siglas en inglés), Modulación por Amplitud de Pulso (PAM por sus siglas en inglés), Modulación por Código de Pulso (PCM por sus siglas en inglés), etc. Las modulaciones digitales trabajan codificando de manera binaria diversas características de la señal transmitida.

Además, también existe el concepto de “multiplexación” en GSM, lo que significa que una trama de información es combinada con otras para ser enviadas por el mismo canal al mismo tiempo, de tal forma que en la parte receptora del mismo puedan ser recuperadas y separadas nuevamente en cada uno de los mensajes originales. Este concepto está muy ligado al concepto de “acceso múltiple”; el cual se resume en la habilidad de enviar más de una señal a través de un determinado canal al mismo tiempo.

Entonces al multiplexar una señal, se prepara para que pueda ser enviada a través de un canal, lo cual es útil para asegurarse que cuente con acceso múltiple al mismo. Hay diversas maneras de multiplexar las señales, lo cual da distintos tipos de acceso múltiple a los canales. El concepto general de la multiplexación se muestra en la figura 3.

Figura 3. **Concepto de multiplexación**



Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Tipos de multiplexación

Se trata el tema de la multiplexación de señales de una manera más extensa que el resto de los conceptos, ya que es básico para el tema de GSM que se trata en el capítulo; habiendo realizado esta salvedad, nos enfocamos en lo tratado en este apartado.

Entre los tipos de multiplexación existentes se pueden mencionar: Multiplexación por División de Tiempo (TDM por sus siglas en inglés), la cual consiste en enviar pequeñas partes de los mensajes multiplexados en un orden determinado, por el mismo canal; dichas partes del mensaje son recuperadas al final del mismo, y “re-ensambladas” en los mensajes originales.

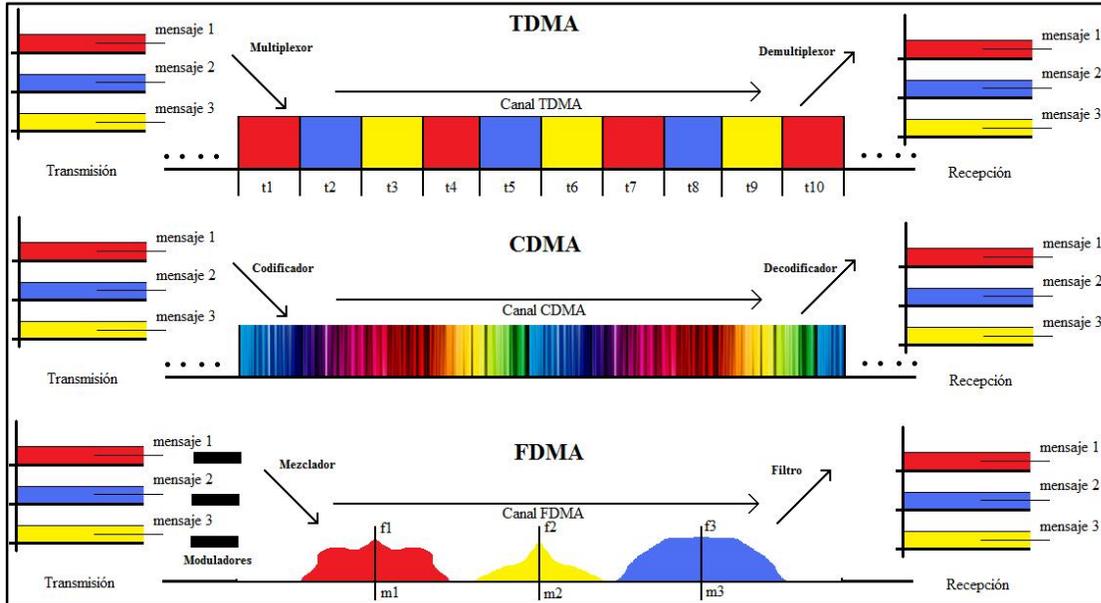
En otras palabras, el uso del canal de tiempo es dividido dentro de un número determinado, que es el número máximo de mensajes que podrán ser enviados a través del mismo, y durante una fracción de tiempo se envía a través de él una porción de la información de un determinado mensaje, en la siguiente fracción de tiempo se envía parte de otro mensaje, y así sucesivamente; del lado de la recepción, y de un forma sincronizada se recuperan los trozos de información de cada mensaje, y se re-ensamblan de manera individual hasta que quedan completados los mensajes enviados. Esta es, a grandes rasgos, la manera en la que opera TDM; una de las técnicas más difundidas de TDM es el Acceso Múltiple por División de Tiempo, (TDMA por sus siglas en inglés); éste es el método utilizado en GSM.

Otra multiplexación importante en nuestros días es la denominada Multiplexación por División de Código (CDM por sus siglas en inglés); en ésta, se utiliza un solo canal para enviar distintos mensajes, pero cada mensaje está codificado de manera tal, que aplicando un decodificador específico a la salida del canal, es posible recuperar cada mensaje de manera individual. Los códigos utilizados para lo anterior deben ser ortogonales para asegurar que los mensajes podrán ser recuperados de forma inalterada.

La técnica más utilizada de CDM es conocida como Acceso Múltiple por División de Código, (CDMA por sus siglas en inglés). Esta será tratada con más detalle en el capítulo siguiente.

La técnica de multiplexación conocida como Multiplexación por División de Frecuencia, (FDM por sus siglas en inglés), consiste en utilizar el mismo canal para enviar múltiples mensajes e información, pero cada uno a una frecuencia distinta; en la recepción, sólo se tiene que filtrar la frecuencia del mensaje deseado para recuperarlo. El Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA por sus siglas en inglés), es la técnica FDM más utilizada. En la figura 4 se ejemplifican todas las técnicas de multiplexación mencionadas anteriormente.

Figura 4. Representación de distintos tipos de multiplexación



Fuente: elaboración propia.

2.3. Arquitectura de GSM

En el mundo de las telecomunicaciones, una red celular posee dos componentes principales: la infraestructura física de la misma, y los usuarios finales o subscriptores del servicio. Para los efectos de este estudio gana en importancia la primera de dichas divisiones, por lo que se procede a analizarla de una manera más detallada.

La red celular física puede desglosarse en 3 subsistemas o subredes que son:

- Subsistema de Estación Base (BSS por sus siglas en inglés).
- Subsistema de Manejo y Conmutación (SMSS por sus siglas en inglés).
- Subsistema de Manejo y Operación (OMSS por sus siglas en inglés).

2.3.1. Subsistema de Estación Base (BSS)

Abarca dos elementos distintos: el Controlador de Estación Base (BSC por sus siglas en inglés), así como la Estación Transceptora Base / Estación Base (BTS/BS por sus siglas en inglés). Las tareas de la BSC son, principalmente el control de la BTS, así como la administración de las frecuencias utilizadas por el sistema para la comunicación; también realiza funciones de intercambio con otras BSC. La BTS, por otra parte, es la interfaz que permite la comunicación de un teléfono móvil con la red celular.

Una de las principales diferencias que hay entre GSM y los anteriores sistemas y generaciones es el hecho de que una sola BSC puede controlar a varias BTS de manera simultánea.

2.3.2. Subsistema de Manejo y Conmutación (SMSS)

Este abarca todo lo relacionado a las Centrales Celulares de Conmutación (MSC por sus siglas en inglés), así como las diversas bases de datos utilizadas para almacenar la información necesaria para el enrutamiento, además del aprovisionamiento de servicios. Esta red es conocida como red núcleo o *Core*, por el término en inglés.

2.3.2.1. Central Celular de Conmutación (MSC)

La MSC es el nodo de conmutación de una red celular; ejecuta todas las tareas de conmutación que ejecuta la central de una red de telefonía fija, tales como el direccionamiento de servicios y señalización de control. Una red celular puede contar con varias MSC, cada una en control de determinada área de servicio, con una o varias BSC como subordinadas.

Existen distintos nombres para la MSC, dependiendo de la función que la misma esté desarrollando en el momento de citar una referencia hacia ella, lo que puede dar una idea de la complejidad, así como la diversidad de las tareas que una MSC es capaz de realizar. Se puede mencionar: MSC de Acceso Dedicado (G-MSC por sus siglas en inglés); la cual es un MSC dedicada a la comunicación entre la red de telefonía fija y la celular. La MSC Visitada (V-MSC por sus siglas en inglés) es la MSC donde actualmente se encuentra localizado un usuario, la MSC Ancla o de Anclaje (A_MSC por sus siglas en inglés) es la MSC que recibirá a un usuario que se moviliza de otra MSC hacia ella, etc.

Existe un tipo particular de MSC de gran importancia, es conocido como Servidor de Central Celular de Conmutación (MSS por sus siglas en inglés), el cual permite un acoplamiento más eficiente entre las tareas de conmutación con tareas digitales y de control de datos. Los recursos asignados para la conmutación se regulan de una mejor forma con la utilización del servidor.

2.3.2.2. Bases de datos

Las bases de datos son indispensables y fundamentales para el funcionamiento de cualquier red celular, debe existir algún lugar en donde se pueda almacenar la información que relaciona a todos los usuarios de una red, a saber: numeraciones, saldos, tipo de línea, privilegios, entre otros. Algunas se encuentran en la red *Core*.

Dependiendo de las funciones de las mismas, se encuentran distintos tipos de bases de datos proveyendo servicio dentro de GSM, a continuación se hará mención de las más importantes.

Dos de las bases de datos más importantes para la comunicación de una red celular son el Registro de Localización Local y Visitante (HLR y VLR respectivamente, por sus siglas en inglés). Ambas son utilizadas para la sincronización en el registro de los usuarios. La diferencia radica en que la HLR guarda registros de los usuarios que son parte de la red, mientras que los VLR lo hacen para usuarios de otras redes comunicándose hacia dicha red. Generalmente existe una HLR por red de telecomunicaciones, y una VLR por cada MSC.

De una manera más detallada se habla de la HLR. Esta almacena la identidad y datos de los usuarios tales como la Identidad Internacional del Subscriptor Móvil (IMSI, por sus siglas en inglés), también el número telefónico de cada usuario, una clave de autenticación, permisos y otros datos, como ya se había hecho referencia anteriormente.

La HLR básicamente es la contraparte de la información almacenada en la unidad conocida como Módulo de Identidad del Subscriptor (SIM por sus siglas en inglés), la cual almacena la información del subscriptor. La SIM es una de las grandes ventajas de GSM sobre anteriores sistemas de telefonía celular, la información no está “amarrada” a un dispositivo celular, sino que puede ser trasladada entre ellas. Es mediante la comparación entre la información de la SIM con la HLR que es posible establecer si se debe o no, permitir la comunicación de determinado subscriptor.

Dos bases de datos adicionales son responsables por varios aspectos de la seguridad del sistema, se basan principalmente en la verificación de la identidad tanto del equipo como de la SIM; dichas bases de datos son el Centro de Autenticación (AUC por sus siglas en inglés), y el Registro de Identidad del Equipo (EIR por sus siglas en inglés); el primero genera o almacena datos y llaves confidenciales, mientras que el segundo almacena los Números de Serie de las Terminales (IMEI por sus siglas en inglés).

2.3.3. El concepto del canal GSM

Debido a la necesidad de un control eficiente del ancho de banda disponible para manejar un sistema de comunicación celular como GSM, la arquitectura de la forma de transportar los mensajes de un punto a otro fue llevada a muy altos niveles de sofisticación, con la finalidad de aprovechar los recursos a su máxima expresión.

El diseño completo de GSM es un esfuerzo conjunto por brindar una mejora en la calidad de la señal transportada, así como también para darle robustez frente a las fuentes posibles de interferencia. El primer problema que se debe enfrentar al desarrollar GSM es combatir la interferencia creada al utilizar más de una radio base para dar el servicio, es decir interferencia creada por la misma red. Para combatirla se ha diseñado un sistema que utiliza los beneficios tanto de TDMA como de FDMA.

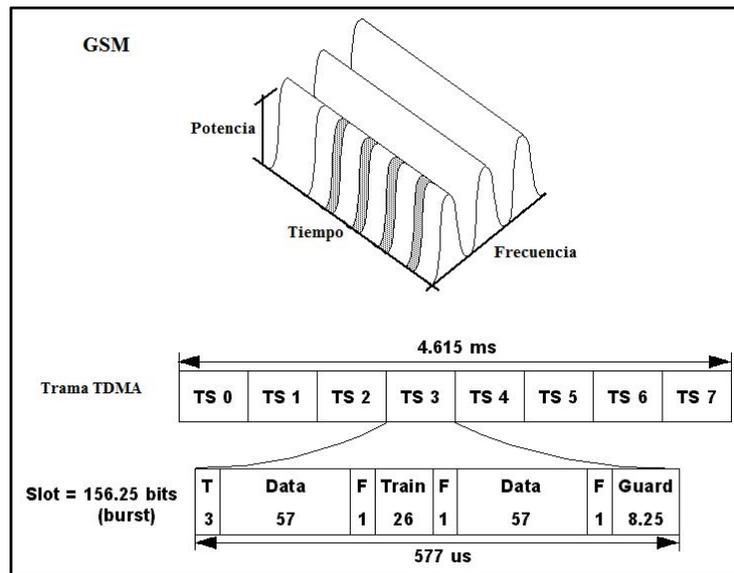
La idea básica es transportar la información de varias fuentes, conversaciones por ejemplo, a través de TDMA, utilizando el mismo canal para esto. El canal GSM es entonces, un canal TDMA.

El canal GSM es un portador con un ancho de banda de 200 Kilohercios (KHz), el cual es digital y puede transportar 8 conversaciones, junto con la señalización propia del sistema. Es un canal más robusto que los usados en la Primera Generación, puede tolerar mucho más interferencia. Este canal es también conocido como Canal de Tráfico (TCH por sus siglas en inglés).

Para la digitalización, se utiliza una variante de la Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (Q-PSK por sus siglas en inglés), llamado Modulación Gaussiana por Desplazamiento Mínimo de Fase (GMSK por sus siglas en inglés), cuyo exacto funcionamiento está fuera del alcance de este documento.

La información digitalizada se divide en tramas o canales de 4,615 milisegundos (ms), las cuales son divididas a su vez en ocho períodos de tiempo, mejor conocidos como “time slots” (TS), cada uno de los cuales puede contener información hasta por un tamaño de 148 bits. Algunas de estas tramas son para transporte de digitalización y señales de control, por lo que cada uno de los 8 canales de voz disponibles es de una tasa de 22,8 Kilobits por segundo (Kbps). Pero una vez más este número es reducido, ya que el sistema utiliza sistemas de corrección de errores lo que conlleva el sacrificio de la velocidad de transmisión; la velocidad disponible es, pues, de 13 Kbps. El tamaño de la trama y las características de la estructura del canal se pueden apreciar en la figura 5:

Figura 5. Estructura del canal GSM



Fuente: ERHART, Wesley, et al. *Advanced Packet Data Testing with Linux*.
<http://www.linuxjournal.com/article/3724>. 15 de septiembre de 2010.

Debido a la utilización de las frecuencias en el sistema, una configuración clásica de GSM puede soportar 62 canales de frecuencia, que al multiplicarse por ocho da un total de 496 canales de voz o señalización diferentes.

Existe además la posibilidad de utilizar algoritmos que permiten dividir cada uno de esos ocho canales multiplexados en dos, de esta forma se cuenta con el doble de capacidad de transporte de información, a costa de la calidad de la transmisión, sin embargo, cuando la calidad que se tiene es muy buena debido a las condiciones de radio e intensidad de señal, esta merma en la calidad del mensaje es realmente imperceptible.

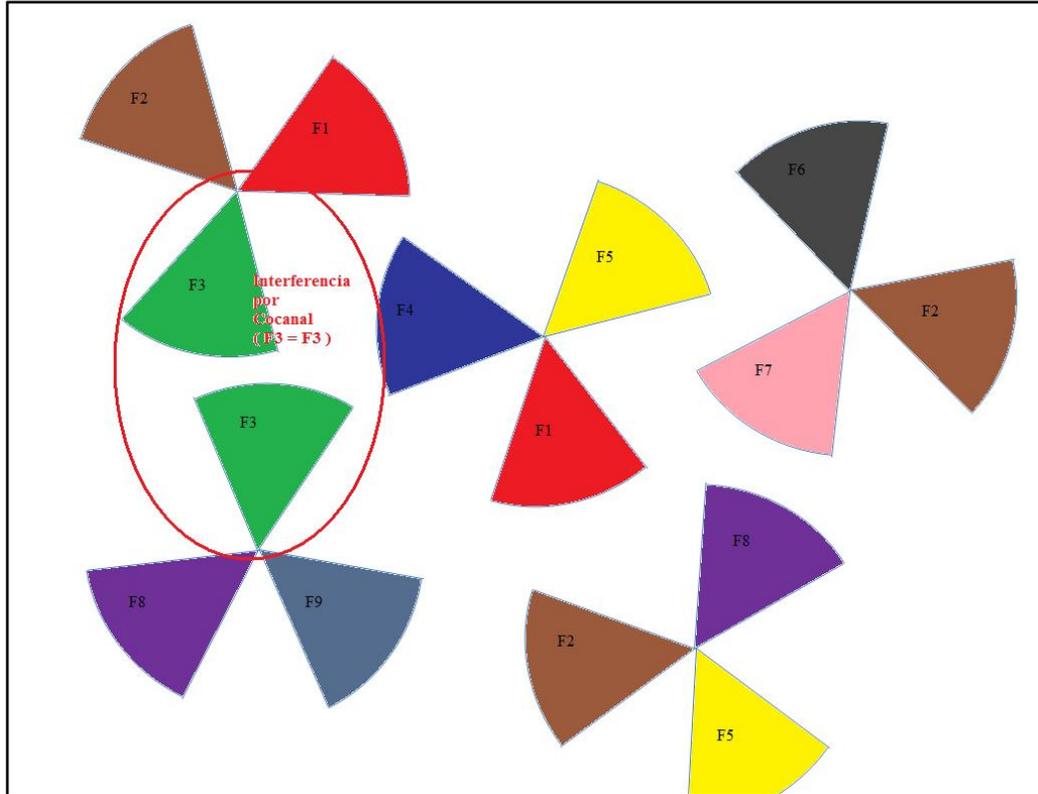
2.3.4. Uso de la frecuencia en GSM

La utilización de las bandas de frecuencias para cualquier tecnología alrededor del mundo está regulada por diversas instituciones tanto nacionales como internacionales. Es debido a lo anterior que las frecuencias para GSM están también estandarizadas; la mayoría de las tecnologías GSM operan en los rangos de los 800 MHz y 1 900 MHz; en Guatemala se opera GSM en bandas de 850, 900 y 1 900 MHz.

En la sección anterior se hizo un análisis de la forma en que la señal se trataba en parámetros de tiempo para lograr una transmisión efectiva de información. En esta parte se analiza la manera en que se manejan los parámetros en el dominio de la frecuencia.

Siguiendo el concepto de FDMA, las señales se separan en frecuencias para evitar que se interfieran unas a otras, eso mismo se hace en GSM, ya que se escogen *sets* distintos de frecuencias agrupadas en canales, para operar las distintas radio bases. Paulatinamente y mientras el número de radio bases de la red aumente, llegará el punto en el que los distintos y ya estandarizados canales de frecuencias con los que se cuentan no se den abasto, y se necesitará, por tanto, re-utilizarlas de forma tal que se asegure minimizar la interferencia por “co-canal”, la cual es el resultado de utilizar el mismo set de frecuencias en radio bases que se encuentren en una interacción más o menos directa en la red. En la figura 6 se ilustra la utilización de distintos canales en una red GSM, así como la presencia de una interferencia por “co-canal” en la misma.

Figura 6. Re-uso de canales de frecuencia en una red GSM



Fuente: elaboración propia.

Siempre que se consideren las orientaciones y separación de las antenas o sectores que utilicen los mismos canales en su operación, se minimizará la posible interferencia resultante.

Se hará hincapié de una manera más detallada en los términos canales de frecuencias, y en por qué no se denominan solamente frecuencias.

Para una mejor comprensión de lo expuesto en los párrafos anteriores, es necesaria la explicación de cómo se maneja el espectro de frecuencias disponibles en GSM. Ya que la comunicación celular es del tipo dúplex, es decir, de doble vía; es necesario contar, para una sola comunicación, con dos distintos medios para transmitir la información; en uno de los cuales viajará toda la información desde la radio base hacia la unidad móvil, mientras que en el otro se transmitirá la información desde la unidad móvil hacia la radio base. Lo anterior aplica para cada celda del sistema; cada una necesita como mínimo de ese par de medios libres de interferencia para poder comunicarse.

Debido a lo expuesto, cada banda de frecuencias disponible en GSM se ha dividido en dos grupos, un grupo de frecuencias usados para transmitir información desde la radio base al móvil, llamadas frecuencias de *downlink*; y un segundo grupo para transmitir la información en sentido contrario, llamadas frecuencias de *uplink*. Los canales de radio son entonces la agrupación de dos bandas de frecuencias, de 200 KHz de ancho, una para transmitir del móvil hacia la radiobase, y la otra para transmitir en la dirección contraria. La estandarización de dicha división se resume en la tabla I:

Tabla I. Frecuencias y ARFCNs que conforman las bandas de GSM

	GSM 450	EGSM 450	GSM 750	GSM 850	GSM 900	EGSM 900	GSM 900 RAIL	GSM 1 800	GSM 1900
Rango de Frecuencias Uplink	450 a 458 MHz	478 a 486 MHz	747 a 762 MHz	824 a 849 MHz	890 a 915 MHz	880 a 915 MHz	876 a 915 MHz	1 710 a 1 785 MHz	1 850 a 1 910 MHz
Rango de Frecuencias Downlink	460 a 468 MHz	488 a 496 MHz	777 a 792 MHz	869 a 894 MHz	935 a 960 MHz	925 a 960 MHz	921 a 960 MHz	1 805 a 1 880 MHz	1 930 a 1 990 MHz
ARFCN	259 a 293	306 a 340	438 a 511	128 a 251	1 a 124	0 a 124 & 975 a 1 023	0 a 124 & 955 a 1 023	512 a 885	512 a 810
Banda de Guarda	10 MHz	10 MHz	30 MHz	45 MHz	45 MHz	45 MHz	45 MHz	95 MHz	80 MHz

Fuente: *Introduction to GSM*. <http://www.gsmfordummies.com/intro/intro.shtml>. 6 de octubre de 2009.

En la tabla I se hace un resumen de las principales características de las bandas de frecuencia estandarizadas para GSM; entre las filas se puede apreciar la que se encuentra con el término *ARFCN*, que es la abreviatura para *Absolute Radio Frequency Channel Number*, que traducido al español es Número Absoluto de Canal de Radio Frecuencia. Este es un número único y estandarizado dado a cada radio canal en GSM, y puede ser utilizado para calcular la frecuencia exacta del mismo. A continuación se presenta a manera de tabla la forma de calcular la frecuencia central tanto para *downlink* como para *uplink* en GSM:

Tabla II. Operaciones para obtener frecuencias centrales de ARFCN en GSM

Banda	ARFCN	Uplink	Downlink
GSM 450	$259 \leq n \leq 293$	$450,6 + 0,2 \times (n-259)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 10$ MHz
EGSM 450	$306 \leq n \leq 340$	$479,0 + 0,2 \times (n-306)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 10$ MHz
GSM 750	$438 \leq n \leq 511$	$747,2 + 0,2 \times (n-438)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 30$ MHz
GSM 850	$128 \leq n \leq 251$	$824,2 + 0,2 \times (n-128)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 45$ MHz
GSM 900	$1 \leq n \leq 124$	$890 + (0,2 \times n)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 45$ MHz
EGSM 900	$0 \leq n \leq 124$ $975 \leq n \leq 1\ 023$	$890 + (0,2 \times n)$ MHz $890 + 0,2 \times (n-1\ 024)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 45$ MHz
GSM 900 RAIL	$0 \leq n \leq 124$ $955 \leq n \leq 1\ 023$	$890 + (0,2 \times n)$ MHz $890 + 0,2 \times (n-1\ 024)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 45$ MHz
GSM 1 800	$259 \leq n \leq 293$	$1\ 710,2 + 0,2 \times (n-512)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 95$ MHz
GSM 1 900	$259 \leq n \leq 293$	$1\ 850,2 + 0,2 \times (n-512)$ MHz	$F_{Uplink}(n) + 80$ MHz

Fuente: *Introduction to GSM*. <http://www.gsmfordummies.com/intro/intro.shtml>. 6 de octubre de 2009.

Es importante remarcar que las frecuencias que se obtienen mediante la tabla II, son frecuencias centrales. Es decir, es la frecuencia que se encuentra al centro de la banda de 200 KHz, y para obtener los bordes de la misma es necesario sumar y restar 100 KHz a la central.

2.3.5. Tipos de canales GSM

En apartados anteriores se estudió la forma y los tiempos que componen el canal de GSM, que tiene un tamaño total de 4,615 ms. También se postuló que cada uno de estos canales, que son representados por sus respectivos ARFCN, se subdivide en 8 *time slots*, los cuales lógicamente son de un tamaño de 0,577 ms, aproximadamente.

Con los conceptos revisados anteriormente se puede entonces hacer un estudio de los distintos tipos de canales que utiliza GSM; y como punto de partida se hablará de la diferencia entre canales físicos y lógicos. Los primeros son los verdaderos canales por los cuales se transporta la información entre la estación base y el móvil. En otras palabras, se puede decir que los *time slots* son a los que se conoce como canales físicos, y por ende las agrupaciones de 8 *time slots* también son canales físicos; espacios por donde viaja la información de un punto a otro.

Cada canal físico en GSM se puede proyectar en una serie de canales lógicos; es decir, los canales físicos dan origen a los canales lógicos, son la base sobre la que se despliegan, es decir, los canales lógicos son canales físicos que en ese momento están siendo utilizados para transportar determinado tipo de información. Pueden ser pensados como cierto tipo de datos que son transportados en un determinado momento a través de un canal físico. Hay dos tipos principales en GSM:

- Canales de Señalización
- Canales de Tráfico (TCH por sus siglas en inglés)

2.3.5.1. Canales de señalización

Hay varios tipos de ellos, los primeros que se pueden mencionar son los Canales de Transmisión (BCH por sus siglas en inglés), que son los que transmiten información desde la BTS hasta el móvil. Llevan parámetros del sistema que permiten identificar a la red, sincronizar tiempos y frecuencias de la transmisión, así como para negociar el acceso a utilizar la red por parte del móvil. Los principales son: el Canal de Control de Transmisión, Canal de Corrección de Frecuencia, Canal de Sincronización y el Canal de Transmisión de Celdas.

Un segundo grupo lo conforman los Canales Autónomos Dedicados de Control, que se utilizan en la configuración de la llamada. Entre ellos se pueden mencionar a: Canal de Control Asociado, el Canal Rápido de Control Asociado, el Canal Lento de Control Asociado.

Como tercer grupo se tiene a los Canales Comunes de Control, que transmiten señalización entre la BTS y el MS, también solicitan y aprueban el acceso a la red. El Canal de Llamado, el Canal de Acceso Aleatorio y el Canal de Acceso Garantizado son parte de este grupo.

Como último grupo se tiene al de los Canales Asociados de Control, que participan en la señalización de llamadas.

A continuación se tratan de una manera un poco más profunda los más importantes para el desarrollo de este documento.

2.3.5.1.1. Canal de Control de Transmisión

El Canal de Control de Transmisión (BCCH por sus siglas en inglés), importantísimo para la comunicación entre la BTS y el móvil (MS por sus siglas en inglés), en *downlink*; éste contiene los parámetros necesarios para que el MS logre la identificación de la red y gane acceso. Estos parámetros son el Código de Área de Localización (LAC por sus siglas en inglés), el Código de la Red Móvil (MNC por sus siglas en inglés), frecuencias de operación de celdas vecinas así como parámetros de acceso.

2.3.5.1.2. Canal de Corrección de Frecuencia

El canal de corrección de frecuencia (FCCH por sus siglas en inglés); éste es usado por el MS como una referencia de frecuencia. Contiene tramas de corrección de frecuencia, que son usadas por el MS para colocarse correctamente en frecuencia y lograr la comunicación.

2.3.5.1.3. Canal de Sincronización

Este canal es utilizado por el MS para obtener el Código de Información de la Radio Base (BSIC por sus siglas en inglés). Este es utilizado por el MS en conjunción con el BCCH para el correcto reconocimiento de la BTS.

2.3.5.1.4. Canal de Llamada

El canal de Llamada (PCH, por sus siglas en inglés), es utilizado para el *downlink* y para el *uplink*, y su función es la de informar al MS que se aproxima información hacia él, esto es conocido bajo el término en inglés *paging*. Dicha información puede ser una llamada, datos de *internet* o mensajes de texto (SMS por sus siglas en inglés).

2.3.5.1.5. Canal Autónomo Dedicado de Control

Este canal (SDCCH por sus siglas en inglés), es uno de los canales de señalización más importantes, a través de él pasa información importante de señalización, así como toda la mensajería de texto, tanto entrante como saliente.

2.3.5.2. Canales de tráfico

Los canales de tráfico (TCH por sus siglas en inglés), son los encargados de transportar la información de voz y de datos en forma digital. Los TCH pueden transportar los datos en dos modalidades distintas, conocidas como *Full Rate* y *Half Rate*. Cuando se trabaja en *Full Rate* se tiene una velocidad de transmisión de datos en el TCH de 22,8 Kbps, mientras que en *Half Rate* la velocidad es de 11,4 Kbps. La ventaja del *Half Rate* es que en un mismo canal pueden viajar dos tramas. El TCH se puede decir que es un canal dedicado para un solo usuario.

Una característica del TCH es el uso de lo que se conoce en español como Tasa Múltiple Adaptable (AMR por sus siglas en inglés), el cual es un algoritmo que, dependiendo de las condiciones de radio al momento de la transmisión puede adaptar dinámicamente el grado de codificación del mensaje. Mientras mejores son las condiciones de radio, menor es la necesidad de codificar la información. AMR logra de esta manera 8 tasas distintas de velocidad: 12,2; 10,2; 7,95; 7,40; 6,70; 5,90; 5,15 y 4,75 Kbps.

2.3.5.3. Tramas de información en GSM

Una determinada banda de frecuencias, la cual es representada por un determinado ARFCN, es dividida en 8 *time slots*. Cada *time slot* dura 576,9 μ s. Debido a la forma de codificación que es utilizada, y haciendo cierto número de cálculos se puede probar que en un solo *time slot* se pueden transportar 156,25 bits, esta cantidad de bits transmitidos por *time slot* es conocida como ráfaga de datos; a cada ráfaga se le descuentan 8,25 bits para una banda de guarda, con lo que quedan 148 bits usables por ráfaga.

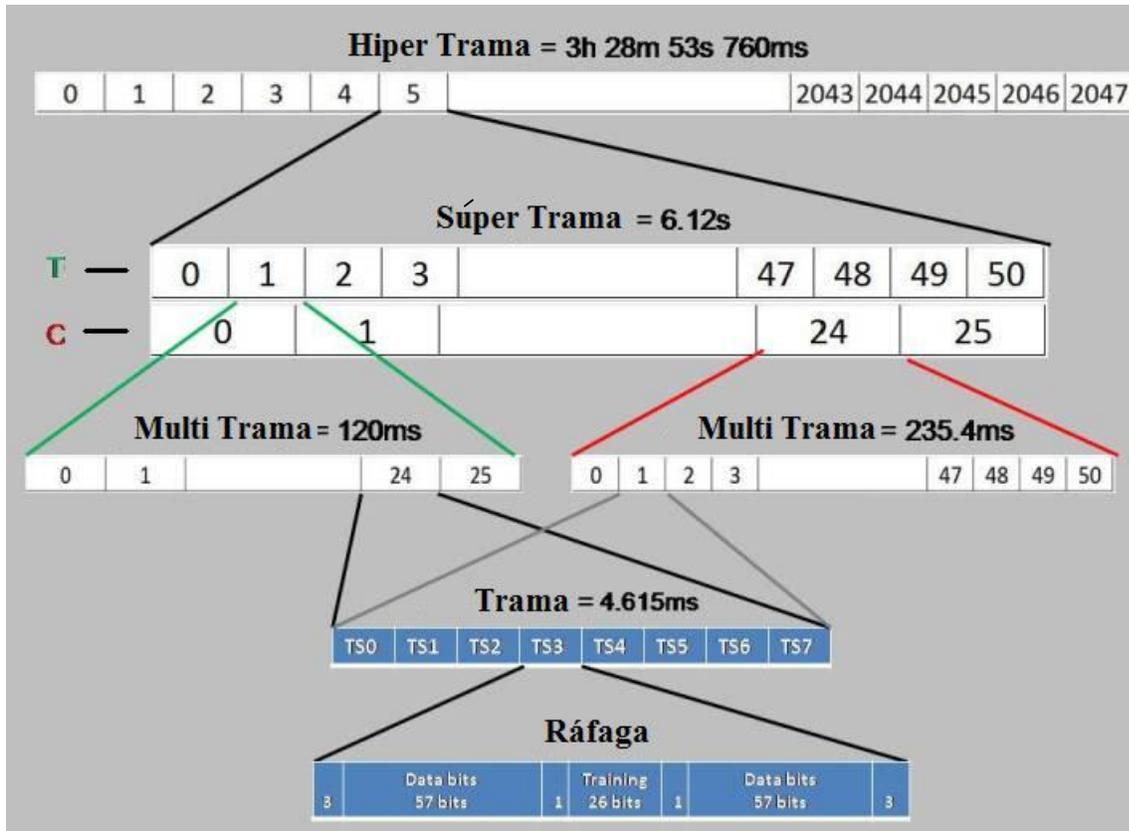
Se denomina trama a un conjunto de 8 *time slots*, la duración de la misma es de 4,615 ms. A un conjunto de varias tramas se le denomina multi trama.

Existen dos tipos distintos de multi tramas: las multi tramas de Canal de Control y las de Canal de Tráfico. Las primeras están compuestas de 51 tramas y tiene una duración de 235,4 ms. Las segundas están compuestas de 26 tramas y tienen una duración de 120 ms.

A la unión de varias multi tramas se le denomina súper trama. De nuevo existe la súper trama de Canal de Control y la de Canal de Tráfico. La primera está compuesta por 26 multi tramas y dura 6,12 s. La segunda está compuesta de 51 multi tramas y dura también 6,12 s.

Finalmente al unirse varias súper tramas se tiene una híper trama, la cual dura más de 3 horas. En la figura 7 se resume la estructura de tramas analizada en este apartado:

Figura 7. Tramas de la red GSM



Fuente: *Introduction to GSM*. <http://www.gsmfordummies.com/intro/intro.shtml>. 6 de octubre de 2009.

2.3.6. Control de potencia en GSM

El control de potencia se utiliza en GSM tanto en *downlink* como en *uplink* para mejorar el funcionamiento en general de la transmisión de información. Para el *downlink* se puede mencionar que mediante el control de potencia se reduce la interferencia por co-canal con lo cual se mejora la eficiencia de utilización del espectro de frecuencias disponible. Para el *uplink* se tiene que un control efectivo de la potencia del móvil aumenta el tiempo de uso de la batería con lo cual se ahorra energía de manera significativa.

La manera en la que el control de potencia se lleva a cabo, consiste en que tanto la radio base como la unidad móvil controlan la potencia a la cual transmiten mediante incrementos o decrementos de la misma, los cuales se denominan pasos; cada paso es de dos dB. El número total de pasos que tanto una radio base como una unidad móvil pueden moverse hacia arriba como hacia abajo es 15, por lo que el rango total de ambos es de 30 dB.

El último factor a discutir es el del tiempo, o sea qué tan rápido se pueden dar estos incrementos y decrementos de potencia en el sistema. Un aumento o decremento de 2 dB, es decir un paso, puede darse en 60 mili segundos.

Ya con todo lo anterior expuesto, se puede observar que el control de potencia consiste en un sistema de lazo cerrado en el que participan tanto unidad móvil como estación base, en donde ambos están midiendo y determinando si es necesario aumentar la potencia, o disminuirla si se tiene un desperdicio de la misma, en pasos de 2 dB, en lapsos de tiempo de 60 mili segundos.

2.3.7. Salto de frecuencias

Este es un mecanismo de control y disminución de interferencia de co-canal, usado ampliamente en los distintos tipos de GSM. Consiste en no solamente transmitir la información contenida en los TCH utilizando un solo ARFCN, sino en cambiar constantemente éstos durante la transmisión, y de una manera síncrona tanto para el transmisor como para el receptor, de esta manera se disminuye la posibilidad de que en un lugar y momento determinado se estén transmitiendo dos mensajes distintos utilizando el mismo canal. Un efecto secundario de lo anterior es el de que el ancho de banda necesario para la transmisión aumenta de manera considerable.

2.4. Radio Servicio General de Paquetes

2.4.1. Introducción

El acceso a datos e información variada y no sólo a la transmisión de servicios de voz siempre ha sido un objetivo de los servicios de comunicación. Los primeros métodos para obtener acceso a redes globales como *internet* permitían tasas de velocidad de un promedio de 10 kbps, mediante una conexión dedicada, es decir, previo a la transmisión de información se establece un canal seguro entre origen y destino a través del cual se envían los datos. Dicho método es conocido mundialmente con el término en inglés *Circuit Switched (CS)*; y actualmente no es muy popular debido a la lentitud del mismo.

Hoy día, los métodos de conexión que han cobrado auge debido a las elevadas tasas de velocidad alcanzadas son los mundialmente conocidos por su nombre en inglés como *Packet Switched (PS)*. La diferencia entre CS y PS radica en que para PS no se establece un canal dedicado en la transmisión de información, sino que la misma es dividida en secciones conocidas como paquetes, que son enviadas individualmente de un punto de inicio a uno de final, sin importar el orden ni el tipo de paquete, y la velocidad depende de la carga de información que se transmite simultáneamente a través de la red.

2.4.2. Definición del Radio Servicio General de Paquetes

El Radio Servicio General de Paquetes (GPRS, por sus siglas en inglés) es un servicio de comunicación digital basado en PS, el cual permite la transmisión y recepción de información a través de la red celular. Su propósito es proveer un sistema eficiente que apunte a la transferencia de datos para usuarios de servicios celulares. Provee velocidades de 56 a 114 kbps.

Una característica importante para el desarrollo de GPRS es que los proveedores de servicios de comunicación celular no tienen que empezar desde cero para ofrecer el servicio de GPRS. GPRS se diseñó como una mejora de GSM, lo cual lo hace sumamente fácil de implementar. Para el caso de GSM, dicha tecnología todavía maneja la voz mientras que GPRS se reserva para el manejo de datos.

2.4.3. Análisis técnico de GPRS

Como se mencionó con anterioridad GPRS no es una entidad completamente separada de GSM, casi toda la infraestructura ya existente se utiliza para éste, necesitándose en algunos puntos de la red una actualización de *software*, y en menor escala, de *hardware*. Los cambios de *software* se pueden realizar de manera remota.

Hay, sin embargo, dos nuevos elementos que juegan un papel primordial en la forma en la que GPRS trabaja, a saber: el Nodo de Soporte de Servicio de GPRS (SGSN por sus siglas en inglés), y el Nodo de Soporte de Acceso de GPRS (GGSN por sus siglas en inglés).

Es necesario acá responder a la pregunta de cómo la red GSM diferencia las actividades de CS y de PS. En términos sencillos, en la práctica se puede considerar que GSM y GPRS son dos redes trabajando en paralelo. En la red GSM existen muchas BSC. Cuando se implementa GPRS a cada una de estas BSC se le debe realizar una actualización de *software*, así como agregarle nuevo *hardware*. Dicho *hardware* consiste en una Unidad Controladora de Paquetes (PCU por sus siglas en inglés); la cual es la encargada de diferenciar la información que debe ser transmitida mediante CS de la que debe ser transmitida mediante PS.

2.4.4. Nodo de Soporte de Servicio de GPRS (SGSN)

Este nodo tiene a su cargo tareas como el enrutamiento, y la asignación de direcciones de Protocolo de *Internet* (IP por sus siglas en inglés) de la información a ser transmitida y/o recibida.

El SGSN tiene una conexión lógica con el dispositivo que utiliza GPRS. Este nodo se asegura que la conexión establecida para el manejo de datos no sea interrumpida por procesos como el cambio de celda servidora debido al traslado físico, por ejemplo. El SGSN resuelve a través de qué celda se estará haciendo el traslado de información de PS.

Es posible que el usuario debido a su movimiento se traslade a una región física de la red que es controlada por una SGSN distinta, este proceso se realiza sin que sea notorio para dicho usuario. Se puede hacer una comparación entre las funciones de la SGSN en PS, con las de una MSC en CS.

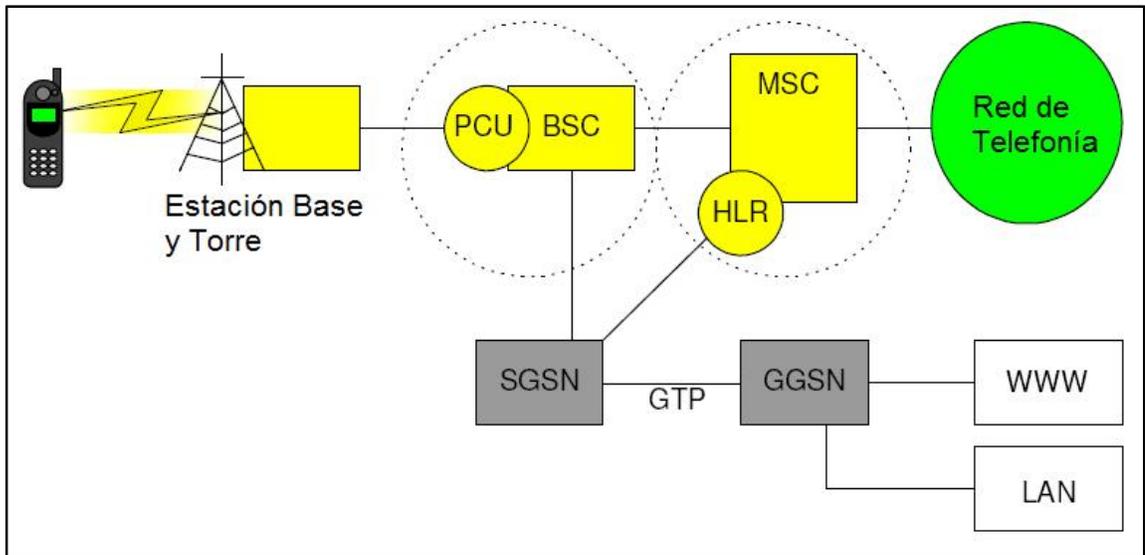
2.4.5. Nodo de Soporte de Acceso de GPRS (GGSN)

Este es el último punto de una red celular antes de trasladarse hacia una red externa, como *internet* por ejemplo. Cumple las funciones de un enrutador, módem y un sistema de seguridad de red, todos en uno.

2.4.6. Conexión entre SGSN y GGSN

La conexión existente entre SGSN y GGSN se logra mediante un protocolo denominado Protocolo de Tunelización de GPRS (GTP por sus siglas en inglés). Este se ubica sobre el protocolo TCP/IP, y es responsable además de la recolección de datos para cobro del servicio. GPRS se tarifica por Megabyte descargado, y no por tiempo de conexión, como GSM. Se presenta a continuación el diagrama de GSM con el agregado de GPRS:

Figura 8. Diagrama de componentes de red GSM-GPRS



Fuente: DOYLE, Morgan. *GPRS Tutorial*. p. 4.

2.4.7. Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM

Es necesario hacer una mención dentro de este apartado de la tecnología conocida como Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM, ya que ha sido considerada como una mejora de GPRS, aunque ya es considerada como una tecnología de generación superior a 2G.

Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM (EDGE por sus siglas en inglés) es una tecnología de comunicación celular para PS la cual permite mayores velocidades de transmisión de datos que GPRS; dicho estándar ha sido generado para poseer compatibilidad de operación con tecnologías anteriores. EDGE ya es considerado como una tecnología de 3G, o por lo menos en un nivel superior a 2G, por ejemplo 2.5G.

El objetivo principal del desarrollo de EDGE es permitir que tecnologías de Segunda Generación y basadas en TDMA alcancen velocidades de transmisión de datos en PS mayores a las de GPRS, en teoría se pueden alcanzar los 384 Kbps.

EDGE provee dicha mejora en la velocidad de transmisión mediante un cambio en el tipo de modulación utilizada en la transmisión. GPRS utiliza GMSK, al igual que GSM, para modular; dicho sistema no permite alcanzar tasas elevadas de transmisión. EDGE utiliza 8-PSK como sistema de modulación. 8-PSK se adapta a las condiciones de radio en la transmisión, ofreciendo excelentes velocidades de transmisión cerca de las BTS. Ofrece velocidades de 48 Kbps por canal, comparados con los 14 Kbps por canal de GPRS, y los 9,6 Kbps por canal de GSM. Mediante la utilización combinada de los 8 canales GSM para su utilización en EDGE es que se alcanzan los 384 Kbps teorizados anteriormente

La implementación de sistemas EDGE en la red GSM requiere de una unidad transceptora EDGE agregada para cada BTS, además de mejoras de *software* que se pueden realizar de manera remota. Puede coexistir con el tráfico GSM activándose y desactivándose de manera automática.

Para tener implementada la tecnología EDGE de manera efectiva, debe de instalarse junto con las mejoras de *software* para GPRS, y utilizará de igual forma de la SGSN, así como de la GGSN en su interacción con las redes de datos.

3. PRINCIPIOS BÁSICOS Y OPERATIVOS DEL SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES (UMTS)

3.1. Introducción

Ya se ha hablado en apartados anteriores de la revolución que marcó el paso a la tecnología digital en las telecomunicaciones. Sin embargo la necesidad de una mejora constante específicamente en los servicios de acceso a datos ha llevado al desarrollo de una nueva tecnología denominada de Tercera Generación (3G). En este capítulo se hará una breve exposición de los aspectos técnicos más relevantes del diseño y funcionamiento de la tecnología 3G, conocida como Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS por sus siglas en inglés).

3.2. Conceptos básicos

Los conceptos básicos tanto de canal como de tipos de multiplexación ya han sido tratados en apartados anteriores, y aplican para esta tecnología. Sin embargo es necesario hacer hincapié en que el método de acceso a canal es CDMA de banda ancha, el cual es conocido como WCDMA, y se tratará no como concepto básico, sino como parte de la disertación sobre la nueva tecnología debido a lo reciente e innovador de su diseño. No obstante, antes se tocará el tema de la arquitectura del sistema.

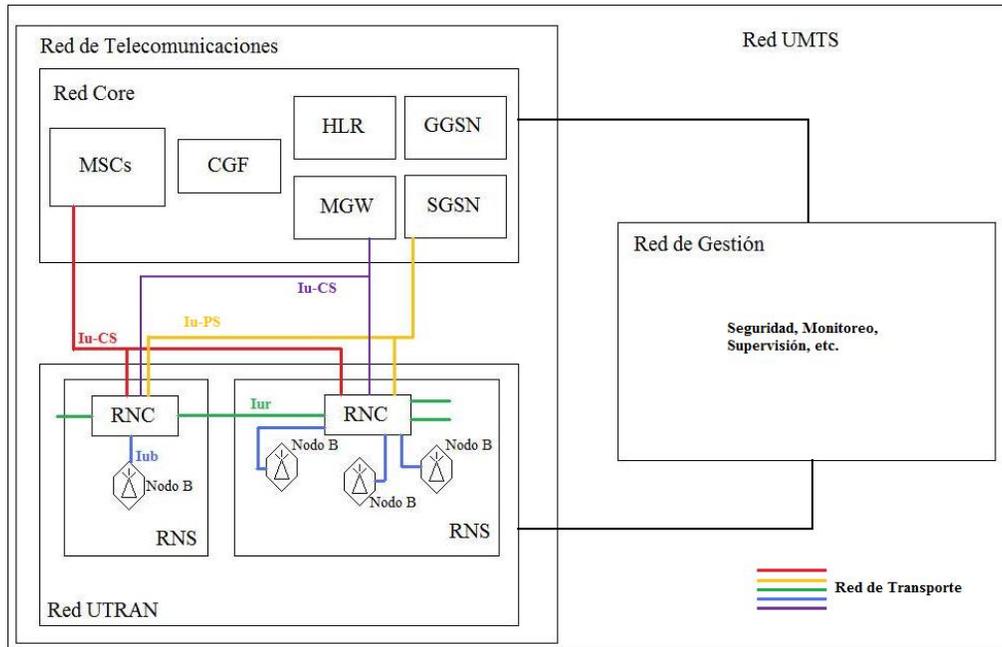
3.3. Arquitectura de UMTS

Como punto de partida para el análisis de la arquitectura de UMTS, se puede decir que dicha red es, al igual que las redes 2G, una red digital, por lo que su estructura y arquitectura son bastante similares. Una diferencia que puede ayudar a reconocer si un sistema es 2 o 3G es que para 2G los canales de radio usados son de banda estrecha, mientras que para 3G son de banda ancha, lo que le permite la flexibilidad y rapidez en el manejo de información de multimedia.

Ya para GSM se acotó que la manera más adecuada de estudiarla y analizar su arquitectura es mediante una subdivisión en varias sub redes por el tipo de trabajo que realizan. Para la red UMTS se hará una segmentación similar.

Después de analizar la información disponible sobre la segmentación y composición de la red UMTS, se presenta a continuación el diagrama y análisis posterior de los elementos más representativos de la misma:

Figura 9. Diagrama de componentes de red UMTS



Fuente: elaboración propia.

3.3.1. Red de telecomunicaciones

La red de telecomunicaciones es prácticamente la encargada de desarrollar de manera exitosa la experiencia de comunicación para los usuarios, desde el control de flujo de información, hasta multiplexaciones e interfaces aéreas, así como tareas de señalización para controlar el correcto desempeño de la comunicación.

Podría decirse que la red de telecomunicaciones por sí sola es capaz de proporcionar el servicio de comunicaciones que el usuario desea, sin embargo, hay ciertas funciones importantísimas que no participan directamente en el proceso de comunicación, y por lo tanto son agrupadas fuera de la red de telecomunicaciones, sin las cuales el proceso sería sumamente ineficiente.

Las subredes en las cuales se divide la red de Telecomunicaciones de UMTS son: la Red Núcleo o *Core* por su nombre en inglés, y la Red de Acceso Terrestre de Radio UMTS, (UTRAN por sus siglas en inglés). También se puede contar entre éstas a la Red de Transporte, que permite la comunicación entre la red *Core* y la UTRAN.

3.3.1.1. Red núcleo (Core)

Esta no es más que la versión de Tercera Generación del Subsistema de Manejo y Conmutación de los sistemas GSM, aún más, el diseño de la red *Core* de UMTS está basada casi en su totalidad en la red *Core* de GSM-EDGE. Una diferencia entre las dos podría ser el papel desempeñado por la SGSN y la GGSN, ya que los servicios de PS tienen una mayor relevancia en UMTS que en GSM.

La mayoría de los elementos de esta red cumplen básicamente las mismas funciones de los de la red GSM, por lo que lo hablado de ellos se aplica nuevamente para este capítulo; de manera detallada, se ha hablado con anterioridad de las MSC, el HLR, el SGSN, y el GGSN. Por tanto, se procederá sólo a tratar de manera breve de las tareas y funciones de los demás elementos que la conforman, ya que la red *Core* no es tema primordial para el alcance pretendido en este documento.

3.3.1.1.1. Puerta de acceso del medio (MGW)

El MGW (por sus siglas en inglés) es un elemento que puede ser físico o lógico, cuya función primordial en cualquier red de datos, como es el caso de la red UMTS, sirve de conexión y enlace entre dos elementos, cuya comunicación, debido a su naturaleza distinta, sería imposible o muy difícil de otra manera.

Para el caso de la red UMTS el MGW conecta y hace posible la interacción de la misma con elementos y otras redes, como las redes de Segunda Generación, la Red Pública Telefónica Conmutada (PSTN por sus siglas en inglés), y también con *internet* mediante su adaptación para trabajar con el Protocolo de *Internet* (IP por sus siglas en inglés).

3.3.1.1.2. Acceso a Función de Cobro (CGF)

Esta parte de la red de *Core*, es el puente de comunicación que se establece entre ésta y la parte de la red de Gestión encargada del control de la tarificación de la llamada y el aseguramiento de inversión. Es decir, al detectarse la intención por parte del usuario de iniciar cualquier servicio ofrecido por la compañía de telecomunicaciones, será la comunicación entre el CGF (por sus siglas en inglés) con la red de Gestión la que establezca la capacidad y condiciones de crédito del mismo para permitírsele el servicio deseado.

3.3.1.2. Red UTRAN

Este apartado trata acerca de la segunda de las grandes divisiones de la red de telecomunicaciones, la Red de Acceso de Radio (RAN por sus siglas en inglés). Ésta consiste en todos aquellos elementos de red que tienen en común el manejo de radio.

Al contrario de lo sucedido con la red *Core*, que ha sido copiada casi de manera completa de las redes *Core* de las tecnologías de Segunda Generación; la red RAN Terrestre de UMTS, que es abreviada como UTRAN, ha sido moldeada en su totalidad para cumplir con los requerimientos del método de acceso al canal utilizado para UMTS.

Lo expuesto en el párrafo anterior lleva a la conclusión lógica de que, para poder cumplir con las expectativas previstas para el sistema en general, nuevos elementos de red han sido desarrollados y se encuentran netamente bajo el dominio de la red UTRAN. Los elementos que la conforman son: el Controlador de Red de Radio (RNC por sus siglas en inglés), así como el Nodo B. Generalmente a la Combinación de una RNC con uno o Varios Nodos B se le denomina Subsistema de Red de Radio, o RNS por sus siglas en inglés.

Se hará a continuación un análisis de estos elementos de red, así como también se hablará de la relación existente entre ambos y su importancia en el funcionamiento de la red y del servicio de telecomunicaciones en general.

3.3.1.2.1. Controlador de red de radio

Como se mencionó anteriormente, este elemento de red es más conocido por sus siglas en inglés, RNC, y con este nombre será conocido a lo largo de este documento. La RNC tiene su equivalente en las redes de 2G en la BSC, ya que ambas tienen funciones similares.

La tarea principal de una RNC consiste en el control de los Nodos B asociados a ésta, así como también el control del manejo de la Movilidad dentro de la red UMTS, es decir, la factibilidad del desplazamiento de los usuarios dentro de la misma. Por último, a una RNC le pertenecen y, por ende, controla todos los recursos de radio que la red de UMTS posee.

Entre otras de las tareas en las que la RNC participa en su relación con los Nodos B y los usuarios en general podemos mencionar: control de potencia del sistema, control de admisión a la red, control de carga del sistema, control de transmisión y manejo de paquetes de información, entre otros.

3.3.1.2.2. Nodo B

Es el equivalente de la BTS de los sistemas de Segunda Generación. La principal función del Nodo B es la de controlar los protocolos de la interfaz de aire del sistema de telecomunicaciones. Dichos protocolos abarcan conceptos como la adaptación de tasas de transmisión de información, codificación de canal, entre otros.

La labor del Nodo B en el proceso de la comunicación está estrechamente ligada al método utilizado de acceso a canal e interfaz aérea del sistema.

3.3.1.3. Red de transporte

Todos los elementos de red analizados anteriormente no podrían llevar a cabo sus múltiples funciones si no tuvieran alguna manera de comunicarse entre sí, así como con el mundo exterior. La labor de comunicación entre dichos elementos es realizada por una serie de interfaces conocidas como interfaces de comunicación, y son éstas las que constituyen la red de transporte de UMTS.

Esta red es una red dentro de la red, y hay distintas interfaces que la componen, entre las más importantes podemos mencionar las siguientes:

3.3.1.3.1. Interfaz Iub

Es el nombre que se le da a la interface que se encarga de toda la comunicación entre Nodo B y RNC. La importancia de dicha interfaz es que está completamente especificada como un estándar, al igual que las demás interfaces, lo que significa que se puede competir por crear mejores y más seguras interfaces que hacen que el desempeño de la comunicación entre RNC y nodo B estén en un proceso de constante superación.

3.3.1.3.2. Interfaz Iur

Esta interfaz permite la comunicación entre RNC, lo que hace más efectivo el desempeño de la red en cuanto a la movilidad de los usuarios dentro de la misma. En otras palabras, mediante dicha interfaz el proceso de comunicación entre celdas de distintas RNC se optimiza, lo que mejora el proceso de entrega y recepción de llamadas de usuarios que se encuentran trasladándose entre las coberturas de distintas RNC. Esta es una de las labores más importantes de la interfaz Iur.

3.3.1.3.3. Interfaz Iu

Esta interfaz permite la comunicación entre las red UTRAN y la red *Core*. Se presentan interfaces Iu tanto para CS, como para PS; diferenciándose así los servicios de voz y de datos presentes en UMTS.

3.3.1.3.4. Interfaz Uu

Esta interfaz no es más que un nombre distinto para la interfaz aérea y método de acceso al canal de UMTS; es decir, es otro nombre para WCDMA en el caso de la tecnología 3G que se estudia en este documento.

3.3.2. Red de gestión

Como último de los temas a tratar en este apartado se habla de la red de Gestión, que consiste en todos los medios que se emplean para diversas tareas entre las que podemos mencionar: facturación y tarificación de abonados, también el registro y definición de los perfiles de servicio; la gestión y la seguridad en el manejo de datos, así como en la operación de los distintos elementos que conforman las redes para asegurar el correcto funcionamiento de la misma.

3.4. Principio de operación de WCDMA

3.4.1. Conceptos básicos

Es necesario para el entendimiento de la operación de UMTS, comprender como mínimo el principio en el que se basa el método de acceso al canal y transmisión de información que el mismo utiliza; esto es, comprender las generalidades de WCDMA. Para llegar a dicho objetivo, es necesario analizar primero los principios en los que se basa, lo cual se hará a lo largo de este apartado.

3.4.1.1. Espectro disperso

Después de los éxitos obtenidos con AMPS y GSM, el mundo de las telecomunicaciones se dio a la tarea de desarrollar una tecnología de utilización del canal aún más eficiente y de mejor desempeño, fue así que se desarrolló el Método de Acceso al Canal por División de Código, o CDMA, como una variante de la tecnología conocida como de Espectro Disperso, más conocida por su nombre en inglés, *Spread Spectrum*.

La mayoría de los sistemas que transmiten información se concentran en optimizar el uso de la frecuencia y tratar de enviar datos en el menor ancho de banda posible, para así tener una utilización más eficiente del ancho de banda disponible. Pero ahora, imagine el lector por un segundo, que justamente el rango de frecuencia utilizado para transmitir la información, fuera intencional o fortuitamente interferido por una segunda señal o por ruido a esa frecuencia; el resultado de esto sería que gran parte de la información se perdería.

Una manera de combatir la situación planteada en el párrafo anterior y darle a la transmisión de datos mayor robustez contra la interferencia, es dispersar la información enviada en un ancho de banda muchísimo mayor al que ordinariamente se necesitaría para transmitirla, de esta manera, si se interfiere alguna parte de la banda de frecuencias, la interferencia afectaría en muy poco a la señal transmitida.

Lo anteriormente expuesto atrajo en un principio a los militares ya que era una manera efectiva de asegurar las transmisiones de una posible interceptación por parte del enemigo, al dispersar una señal a lo largo de un ancho de banda enorme, es fácilmente confundida con ruido, por lo que es descartada como portadora de información útil.

Existen 2 criterios que deben cumplirse para considerar una determinada transmisión como de Espectro Disperso:

- Que el ancho de banda del mensaje a transmitir sea muchísimo menor que el de la señal transmitida finalmente.
- Que la dispersión del mensaje a enviar sea producida por una señal independiente al mensaje transmitido, y además, debe ser posible su reproducción por el receptor para recuperar el mensaje enviado.

Existen varios tipos de transmisiones que cumplen con los criterios anteriormente descritos, y que por lo tanto pueden ser consideradas como de Espectro Disperso; hay dos que son de interés para este trabajo, una de las cuales ya ha sido tratada anteriormente en este documento y es la Técnica de Salto de frecuencia.

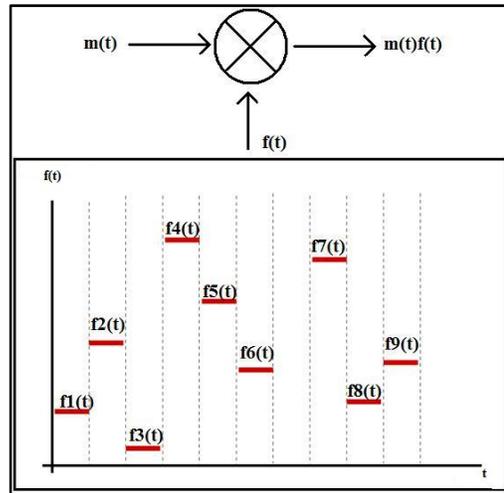
La segunda de ellas es de gran importancia en el desarrollo de UMTS, ya que es el pilar en el que se basa WCDMA. Se trata de la técnica de Espectro Extendido de Secuencia Directa (DSSS por sus siglas en inglés). Esta consiste en que la señal transmitida, que generalmente es del tipo digital PCM, es multiplicada por una señal denominada como “Secuencia de Ruido Pseudo-Aleatorio” o simplemente pseudo-ruido (PN por sus siglas en inglés); la cual es generalmente binaria.

Es necesario hacer aquí una exploración más profunda del concepto de pseudo-ruido: entre sus características principales está que, a pesar de su aparente aleatoriedad, el PN cumple con satisfacer alguno de los muchos criterios estadísticos existentes, lo que permite su análisis. Presenta, además, un patrón definido, es decir, consiste en una sucesión determinística de pulsos que se repetirán en cada uno de sus períodos, no importando que la duración de los mismos pueda ser de hasta millones de años.

La señal es multiplicada por este pseudo-ruido, como se hizo notar con anterioridad, y seguidamente, es modulada con una portadora f_c . En el demodulador es necesario realizar los pasos anteriores de manera inversa para recuperar la señal. Es importante hacer notar que no se recuperará el mensaje de manera satisfactoria a menos que se conozca exactamente la señal f_c así como

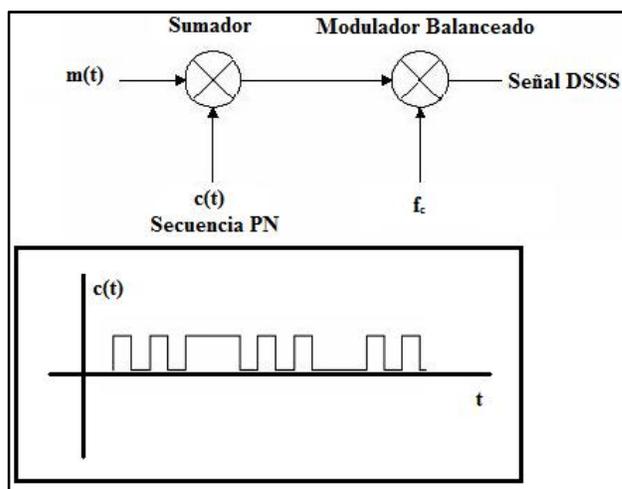
En las figuras 10 y 11 se ejemplifican los tipos de Espectro Extendido analizados:

Figura 10. **Salto de frecuencia**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Espectro extendido de secuencia directa**



Fuente: elaboración propia.

3.4.1.2. CDMA de secuencia directa

El capítulo tres está dedicado en su totalidad al análisis de UMTS, el cual utiliza WCDMA como tecnología de acceso al canal. WCDMA no es más que el nombre de dicha tecnología, que presenta varias propiedades para su correcto funcionamiento. WCDMA utiliza CDMA de Secuencia Directa (DS CDMA por sus siglas en inglés) como medio de acceso al canal, es por esto que la misma se trata detalladamente.

En apartados anteriores se ha tratado de manera superficial el tema de CDMA; aquí se hará un estudio más detallado de la técnica, con un nombre que da una pista del concepto de teoría de comunicaciones utilizado.

Al analizar el significado del acrónimo CDMA: Acceso Múltiple por División de Código, el lector puede notar que lo que se pretende con esta técnica es lograr ingresar a un canal de comunicaciones de manera simultánea con otros usuarios, es por eso que la palabra múltiple aparece en el mismo. También se da la pista de la manera en la que se pretende lo anterior, “División de Código” denota la intención de utilizar el mismo canal para todos los usuarios, pero separados unos de otros por la utilización de un código individual. Es aquí donde el concepto anterior de Espectro Extendido cobra importancia para el sistema.

Si se analiza detalladamente lo expuesto con anterioridad se llega a la conclusión que la característica de robustez de los sistemas de Espectro Extendido, puede ser utilizada para “blindar” no sólo un único mensaje contra la interferencia de un medio, sino que pueden transmitirse varios mensajes distintos al mismo tiempo y protegerse unos de otros mediante la utilización de una señal PN distinta para cada uno, a esto es lo que se le conoce como codificar la señales. Será posible extraer una señal deseada de ese canal “lleno” de distintos mensajes superpuestos unos con otros, siempre y cuando se conozca el código o señal PN utilizada para codificar la misma.

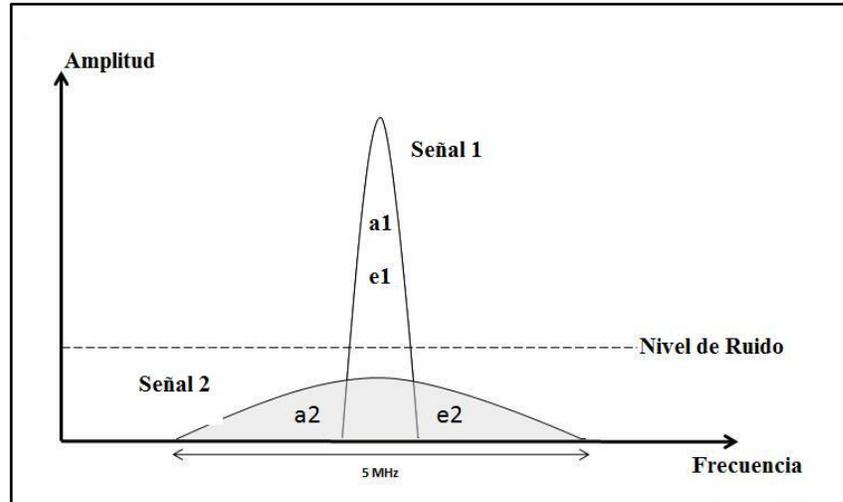
A lo largo de la búsqueda de información realizada para el desarrollo de este trabajo de investigación, se ha encontrado en múltiples ocasiones una analogía que intenta explicar de manera sencilla el concepto detrás del método. La misma dice así: supóngase que existe un cuarto en determinado lugar, en el cual se encuentran varias parejas, por ejemplo: dos angloparlantes, dos hispanoparlantes, dos francoparlantes, etc. Los mismos desean llevar conversaciones simultáneas, cada uno con su contraparte; todos hablarán al mismo tiempo ocupando con sus voces todo el cuarto en donde se encuentran; sin embargo, cada uno sólo presta atención a su compañero, porque está usando el “único lenguaje” que este entiende. De esta manera trabaja CDMA, asignando códigos a las distintas comunicaciones que se llevan a cabo a través de un único canal.

3.4.2. Operación de WCDMA

El punto medular de la operación de WCDMA consiste en el uso del espectro extendido para la transmisión de información; se logra la expansión de la información en un ancho de banda mayor mediante la aplicación de un código PN a la señal de mensajes, en otras palabras, la señal de mensaje es multiplicada por un código PN específico.

De manera directa, lo que se explica en el párrafo anterior es que en WCDMA una señal de mensajes es multiplicada por una serie binaria, o código, de un largo específico, con lo cual la señal es distribuida en un ancho de banda mucho mayor, que es de 5 Mega Hercios (5 MHz). En la figura 12 se puede apreciar de mejor manera este concepto:

Figura 12. Conversión a espectro extendido



Fuente: elaboración propia.

La figura anterior pretende aclarar al lector el importante principio de extender en espectro una señal antes de transmitirla, así como remarcar algunas de las ventajas obtenidas. Se parte de la señal 1, que es la densidad espectral de potencia de la señal de mensaje que se desea enviar. Se puede notar lo angosto del rango de frecuencias que abarca. La misma posee un área específica, que en la figura se representa mediante a_1 , que es representativa de la energía de la señal e_1 .

La segunda señal es nuevamente la señal 1, pero después del proceso de conversión a espectro extendido, lo que se denomina más comúnmente por su nombre en inglés, *spreading*. Tanto su área como su energía, a_2 y e_2 respectivamente, son idénticas a las anteriores, no cambia la energía de la señal modificada, es decir:

[1]

$$a_1 = a_2$$

[2]

$$e_1 = e_2$$

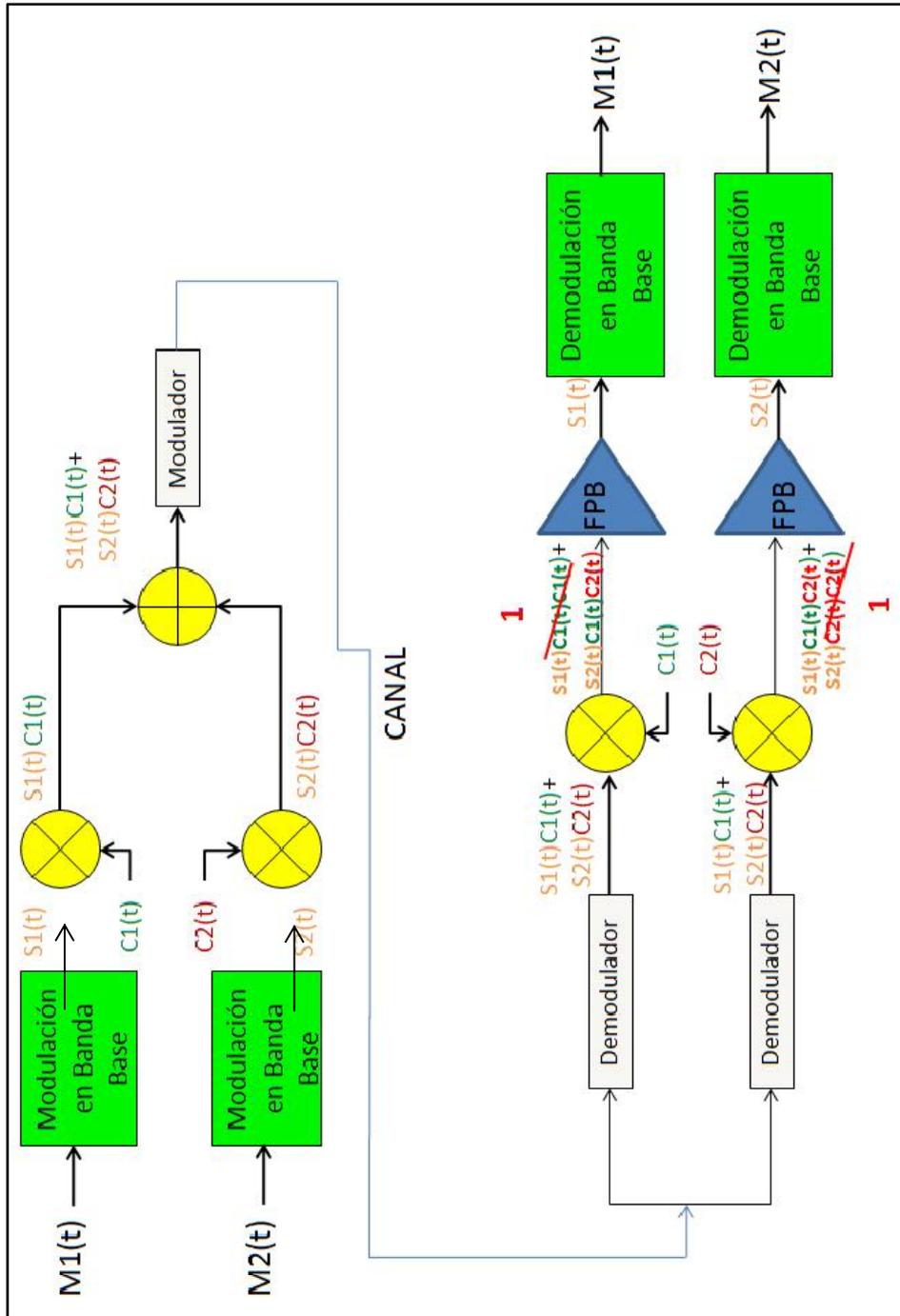
Una característica mostrada en la figura 12 es que la señal 2 es más resistente a interferencias de banda angosta, ya que debido a su gran ancho de banda se le hace casi imposible a la interferencia afectarla en su totalidad. Es además, debido a las propiedades de espectro extendido anteriormente citadas, resistente a intentos de decodificación mal intencionada. Cada una de las distintas señales que se desean enviar sufre este proceso y son expandidas a lo largo de los 5 MHz disponibles, pero separadas por el tipo de codificación usada en ellas.

Una característica más de la señal extendida es que debido a la reducción en sus niveles de amplitud de potencia, la misma quedará seguramente bajo los niveles de amplitud de ruido existentes en cualquier transmisión de radiofrecuencia.

La necesidad de realizar planes de frecuencia tampoco es un aspecto importante en WCDMA ya que todas las transmisiones utilizan exactamente el mismo rango de frecuencia, en sustitución de dicho plan, se planifica la utilización de códigos, pero de estos existe generalmente una cantidad muchísimo mayor que la de rangos de frecuencias para GSM.

A continuación se muestra diagramado el proceso de extensión (*spreading*) y de recuperación (lo que se conoce más comúnmente por el término en inglés *de-spreading*) de varias señales al ser transmitidas al unísono por el mismo canal de 5 MHz:

Figura 13. Expansión y recuperación de señales de WCDMA



Fuente: elaboración propia.

En la figura 13, una señal de banda angosta llamada $M1(t)$, la valiosa información que se transportará de un punto de inicio hacia un determinado destino antes de ser sometida al proceso de *spreading*, es digitalizada y modulada en banda base con la finalidad de protegerla de posibles errores de transmisión, la señal resultante es nombrada en el diagrama como $S1(t)$.

Es menester hacer aquí la aclaración que las tramas de datos binarios utilizadas en las tecnologías celulares consisten generalmente de 2 valores, +1 y -1, para disminuir la probabilidad de errores en la detección de dichas señales después de su transporte por el medio.

A continuación $S1(t)$ es multiplicada binariamente por un código $C1(t)$ determinado y que presenta una tasa de bits mucho mayor, dichos bits son denominados chips, y la señal resultante de dicha multiplicación $S1(t)C1(t)$ presenta esa misma tasa de chips, lo que la hace una señal de banda ancha.

El proceso anterior es repetido para n señales, de forma que se pueden tener $S_n(t)C_n(t)$ tramas, las cuales serán sumadas para luego ser moduladas en preparación a su transporte por un único canal común, el cual es el aire en nuestro caso de estudio.

Los códigos $C(t)$ son diseñados de tal manera que no presentan ninguna correlación entre ellos, y son totalmente ortogonales; esto es necesario ya que para recuperar cualquiera de las señales, por ejemplo $S1(t)$, en el punto de destino de la transmisión, es necesario multiplicarla por $C1(t)$ nuevamente, con lo cual se presenta la siguiente propiedad:

$$S1(t)C1(t)C1(t) = S1(t) \quad [3]$$

Y para el resto de las tramas presentes en la transmisión, es decir, para:

[4]

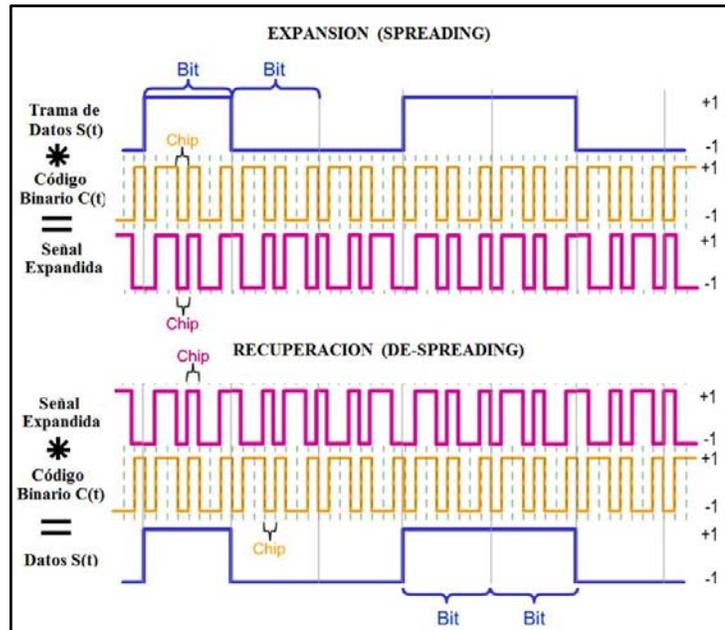
$$\sum_{i=1}^n S_i(t)C_i(t)C_1(t)$$

Con $i \neq 1$

Las mismas son vueltas a expandir y se filtran o se eliminan, con lo cual sólo es recuperada la señal deseada $S_1(t)$.

En el siguiente diagrama se muestra más a detalle el proceso de codificación y expansión de una señal, así como la forma en la que la señal es recuperada mediante la simple multiplicación binaria por el código de expansión:

Figura 14. **Detalle de expansión y recuperación de señal mediante código**



Fuente: elaboración propia.

A la relación entre el la tasa de chips del sistema y la tasa de bits de la señal es a lo que se le conoce con el nombre de Factor de Dispersión, y de una manera más general por su nombre en inglés: *Spreading Factor*. Este describe qué tanto una señal debe ser dispersada para ocupar el ancho de banda completo de 5 MHz. El Factor de Dispersión no se puede escoger variable, sino se calcula por la fórmula:

[5]

$$\text{Factor de Dispersión (SF)} = 2^k, k \in \mathbb{Z}, 1 \leq k \leq 8$$

El SF indica además el largo del código utilizado en la modulación, el cual es variable y se relaciona con la velocidad de transmisión de información por parte del sistema. Mientras más largo es el código, más lenta se hará la tasa de transmisión de información y viceversa.

3.4.3. División por frecuencia

Hasta ahora se ha revisado la manera en la que WCDMA utiliza los principios básicos de DS-CDMA para transmitir múltiple información por el mismo canal; sin embargo, aún queda por resolver cómo diferenciar la dirección en la que viaja la información, es decir el *uplink* del *downlink*.

Para resolver el problema expuesto en el párrafo anterior, para WCDMA se utiliza el concepto de División por Doble Frecuencia (FDD por sus siglas en inglés), el cual consiste en utilizar dos frecuencias distintas para la transmisión de *uplink* y *downlink*. Para el primero se utiliza una frecuencia menor que para el segundo, y la distancia de separación entre ambos rangos de frecuencia es denominada Separación Doble.

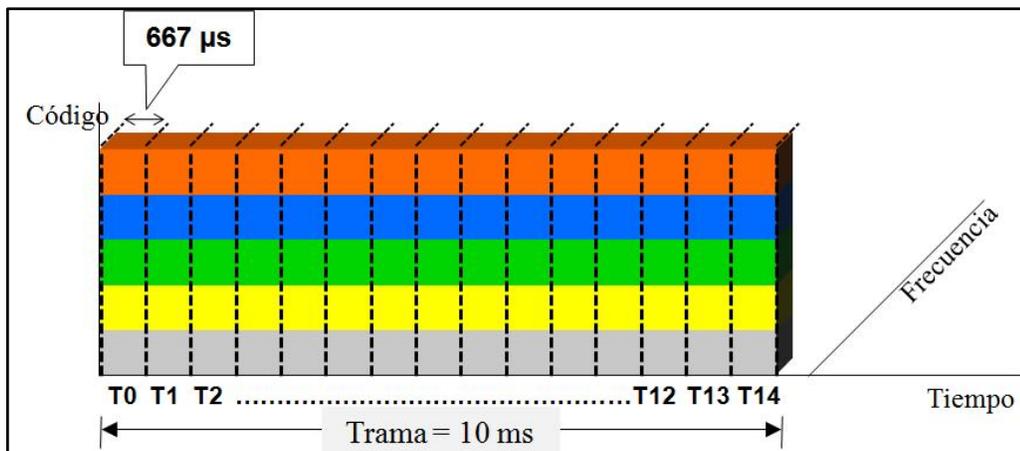
Por la razón anterior a la combinación de los dos rangos de frecuencias se les llama frecuencias pareadas. Ambos rangos tienen un ancho de banda de 5 MHz. En lo anterior, WCDMA presenta similitud en su diseño con GSM.

3.4.4. División por tiempo y tramas en WCDMA

Aunque el concepto de división por tiempo es el principio de operación de GSM, en WCDMA también se hace uso de él, aunque de una manera distinta. Una señal WCDMA – FDD es dividida en segmentos de tiempo de 10 ms, cada uno de los cuales es a su vez dividido en 15 secciones de 667 μ s.

La razón de dicha división es para permitir la sincronización del sistema. Además de ser de utilidad en la señalización de control de la misma. En la figura 15 se resumen las características de las Tramas por División de Tiempo de WCDMA:

Figura 15. **Tramas de tiempo en WCDMA**



Fuente: elaboración propia.

3.4.5. Códigos en WCDMA

La codificación es la parte medular del sistema de WCDMA, y en este apartado se tocan de manera más profunda los conceptos básicos de dichos códigos.

3.4.5.1. Códigos de canalización

En GSM la separación de todos los distintos tipos de información que se transportan a través de la red, se logra mediante la utilización de distintas frecuencias. En WCDMA es necesaria también dicha separación, la cual no es solamente entre mensajes distintos, sino que también abarca conceptos como la separación entre señalización y mensajes, así como la separación entre tramas.

En GSM la diferenciación entre radio bases y celdas se logra mediante el uso de distintas frecuencias, así como la diferenciación entre tramas de tiempo, las divisiones de las tramas pueden llevar datos de control, mensajes o sincronización.

En WCDMA la diferenciación entre control, mensajes y sincronización se realiza mediante el uso de los llamados Códigos de Canalización, los cuales son los únicos estudiados hasta el momento. Se profundiza un poco más en ellos en esta sección del documento.

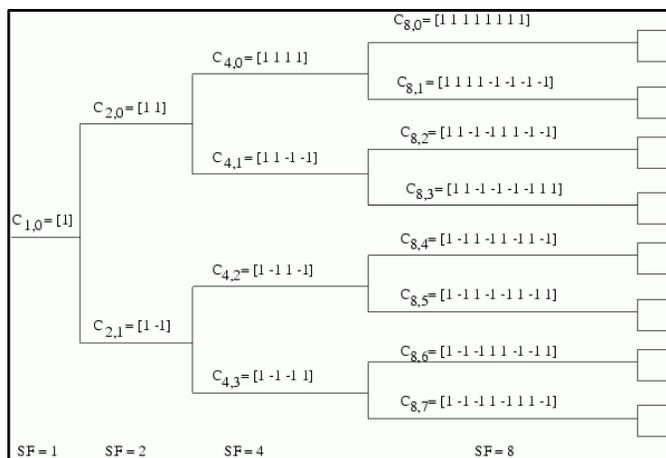
Como se analizó en la figura 13, la codificación de señalización e información se logra mediante multiplicación binaria de cada señal por su respectivo código, y por adición de cada una de éstas en una sola. También se ha hablado de las propiedades de los mismos, ortogonalidad y no correlación, lo que permite que la señal sea recuperada al multiplicarse nuevamente por el respectivo código. También se habló del Factor de Dispersión, como la relación entre tasa de transmisión y largo del código.

Cuando una señal es transportada, su tasa de transmisión de bits puede variar durante la conexión, lo cual es compensado por el sistema variando el Factor de Dispersión, y por ende, el largo del código. Los códigos no pueden ser usados para más de una conexión.

De [5] obtenemos que el máximo número de Factor de Dispersión, y por ende, de códigos, es de 256. Estos son los códigos de Canalización disponibles, pero para el *uplink*; en *downlink* se duplican debido a que se utilizan doble enlace para transmisión, y por lo tanto se duplica la utilización de códigos.

A los Códigos de Canalización se les denomina de una manera más formal como Códigos de Factor de Dispersión Ortogonales Variables (OVSF por sus siglas en inglés). Para estudiar dichos códigos de una manera más ordenada se ha desarrollado el Árbol OVSF, del cual se muestra una parte en la figura 16:

Figura 16. Principio del árbol OVSF



Fuente: OVSF Code Generator.

https://www.physiol.ox.ac.uk/Computing/Online_Documentation/Matlab/toolbox/commblks/ref/ovsfcodgenerator.htm. 18 de marzo de 2010.

El árbol se genera desde $C_{1,0}$, que es la matriz unitaria de 1×1 ; siguiendo el diagrama en la parte superior tenemos a $C_{2,0}$, que es resultado de adjuntar $C_{1,0}$ a $C_{1,0}$, mientras que en la rama inferior a $C_{1,0}$ se adjunta $-C_{1,0}$; y así sucesivamente. El factor de Dispersión se aumenta en 2 con cada sección agregada al árbol.

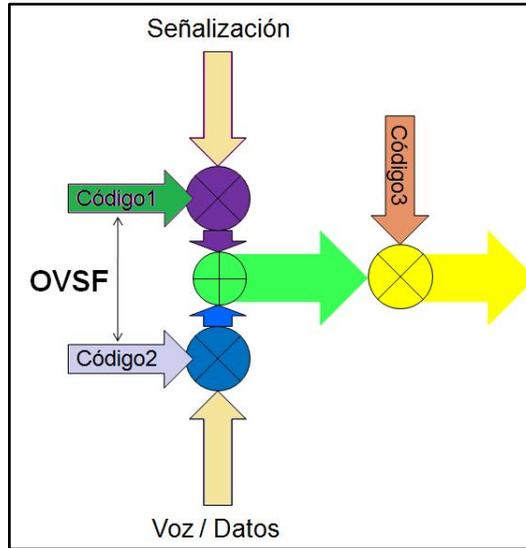
Es importantísimo hacer notar que si se utiliza para alguno de los códigos en el proceso de diferenciación y transmisión de información, es prohibido utilizar códigos que surjan de él mismo hacia adelante en el árbol, o códigos padres hacia atrás en el árbol.

3.4.5.2. Códigos de mezcla

Existe una gama distinta de códigos que también son usados por la tecnología, los cuales son utilizados para diferenciar las distintas celdas y terminales (teléfonos) que se comunican entre si a lo largo de la red UMTS. Estos son conocidos como Códigos de Mezcla, mundialmente conocidos por su traducción en inglés: *Scrambling Codes*.

Los Códigos de Mezcla se multiplican con la señal resultante de la suma de todas las señales de información y señalización, que son transmitidas desde una unidad móvil o radio base, es la “envoltura final” que identifica a la señal con el origen de la misma. A continuación se representa el lugar donde ocurre esta última multiplicación, debe ser comparada con la figura 13:

Figura 17. **Código de mezcla para reconocimiento de origen de transmisión**



Fuente: elaboración propia.

Se definen 8 192 Códigos de Dispersión para ser utilizados en el sistema, para su manejo ordenado se dividen de la siguiente manera: 512 grupos de 16 códigos, de los cuales el primero de cada grupo es denominado Código Primario, y se utiliza netamente para identificar a una celda determinada.

3.4.6. Principales canales de WCDMA

En UMTS tanto como en GSM es necesario establecer algún método para ordenar y hacer viable la transmisión de información, de nada serviría desarrollar una elegante y efectiva manera de codificar y asegurar información para su transporte, sin establecer reglas y maneras de asegurar un control sobre el transporte de la misma. Para UMTS se ha establecido, al igual que en 2G, la utilización de distintos canales de transmisión para enviar de manera ordenada, tanto la información con las órdenes de control necesarias para su correcta interpretación.

El problema para UMTS es que no se puede utilizar la misma solución que en GSM, ya que se cuenta con un único intervalo de frecuencias que no es dividido en el tiempo ni espaciado en frecuencias, por lo menos en lo que a canalización de información se refiere, ya que sí es diferenciado el *uplink* del *downlink*. Se utiliza para UMTS la misma solución que se ha empleado para todo, la codificación. Los canales de control y de transporte de WCDMA van por el mismo ancho de banda, codificados para su correcta recuperación al alcanzar su destino.

En UMTS se reconocen, al igual que en GSM dos tipos distintos de canales, los lógicos y los físicos. Realmente los físicos tomarán el papel de un determinado lógico, dependiendo de la transmisión que se lleve a cabo.

3.4.6.1. Canales de transporte

Un canal físico de control y dos canales físicos de datos forman un Canal de Transporte. Dos tipos de canales de transporte son reconocidos, los dedicados y los comunes, la principal diferencia es que los primeros son reservados para un usuario en específico, mientras que los segundos pueden ser compartidos.

3.4.6.1.1. Canal dedicado de transporte

Este canal a diferencia de GSM es único en WCDMA, y es conocido como DCH por sus siglas en inglés. Es el responsable de transportar la información para un usuario determinado, las cuales vienen de capas superiores a la capa física.

3.4.6.1.2. Canales comunes de transporte

Existen tres canales comunes de transporte básicos, los cuales se enumeran en este apartado. El primero se denomina Canal de Transmisión (BCH por sus siglas en inglés) que transporta la información necesaria para la correcta decodificación de mensajes codificados en la tecnología. Maneja niveles de potencia un poco mayores que el resto de canales.

El segundo es el Canal de Acceso Adelantado (FACH por sus siglas en inglés), que también transporta información de control, y además permite la transmisión de datos a través de él. Este funciona para el *downlink*.

El Canal de Llamada (PCH por sus siglas en inglés), es el canal de *downlink* por donde se transmite la información necesaria cuando la red desea iniciar una comunicación con alguna unidad; para este canal la potencia a utilizar se escoge de tal forma que no afecte el desempeño de la red.

El Canal de Acceso Aleatorio (RACH por sus siglas en inglés) es un canal utilizado por las unidades móviles para enviar en *uplink*, información de control hacia la red. Tiene la función inversa del FACH.

3.4.6.1.3. Canales más importantes de señalización

Una gran cantidad de datos de señalización son transportados a través de la red UMTS, por lo que más adelante se habla de los canales físicos de control necesarios para dicho transporte.

El primero y uno de los más importantes es el Canal Piloto Común (CPICH por sus siglas en inglés). Dicho canal es un canal no modulado que se mezcla con el Código de Mezcla Primario. Su función es la de asistir al móvil a estimar la localización de canales dedicados así como de los comunes. Sus niveles son utilizados en la estimación de la potencia radiada de una radio base.

Los Canales de Sincronización (SCH), Primario y Secundario, son los que utiliza el móvil para posicionarse dentro de la sincronización de una celda, el primero se utiliza para posicionarse en una celda específica, mientras que el segundo se utiliza para posicionarse en un segmento de tiempo específico.

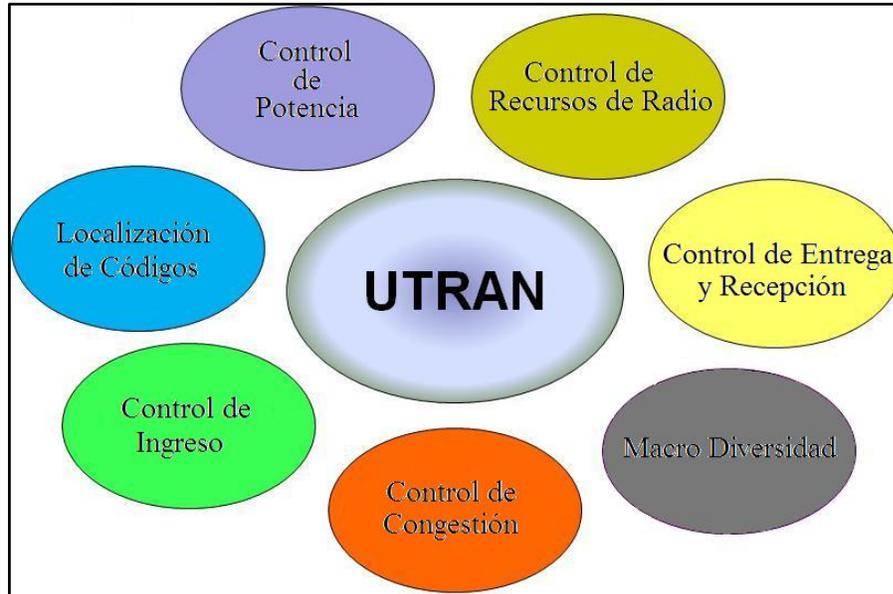
Los Canales Comunes de Control Físico (CPCH por sus siglas en inglés) son canales importantes de control en el sistema. El primero es el que transporta el BCH y debe ser demodulado por todas las unidades de la red. El segundo lleva al FACH y al PCH.

La notificación de encendido y de cambio de Área de Localización (LA por sus siglas en inglés) están a cargo del Canal de Acceso Aleatorio (RACH por sus siglas en inglés). El canal utilizado por la radio base para notificar que el RACH ha sido escuchado es el Canal Indicador de Señalización (AICH por sus siglas en inglés). La manera en que se realiza esta notificación es mediante la devolución de la unidad de la señal enviada, a manera de un eco.

3.5. Características especiales de UMTS

Como parte de las innovaciones de UMTS, el sistema presenta algunas características que lo hacen mucho más efectivo a la hora de la comunicación, en este apartado se dará un pequeño resumen de cada una de ellas. En la figura 18 se aprecian las mismas:

Figura 18. Características de UMTS



Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Control de recursos de radio

Como su nombre lo indica, se refiere a todo lo relacionado con la administración y activación de recursos de radio; es una función de la RNC.

A manera de ejemplo, suponga el lector que una llamada se va a originar desde un determinado móvil; lo primero que el móvil realiza es una solicitud de conexión de recurso de radio, el cual es dirigido a la RNC, la cual prepara todo lo necesario para el enlace con el Nodo B, antes de permitir que el móvil pueda iniciar el proceso de comunicación.

Esta característica es parte del control de Movilidad, y resulta una mejora en la calidad del servicio, como se verá más adelante en el documento.

3.5.2. Control de ingreso

La tarea de esta característica de control es la de evitar situaciones de sobrecarga en la red 3G. Basándose en cálculos de interferencia y control de carga en la celda, la RNC decide si la conexión de un nuevo móvil es autorizada o no. Aquí entra en juego por primera vez la importancia del control de recursos de Radio por parte de la RNC.

Cada vez que se establece una conexión se consumen recursos de la radio base; cuando los mismos se agotan las solicitudes de conexión son rechazadas.

3.5.3. Control de congestión

Si los usuarios activos en una determinada celda producen situaciones de sobrecarga, dicho control toma las acciones necesarias para llevar a la red de nuevo a un estado balanceado.

Las acciones que se pueden tomar a cabo para lograr la anterior abarcan:

- Redistribución de usuarios hacia otros Nodos B
- Redistribución de usuarios hacia otras redes (GSM)
- Terminación controlada de llamadas
- Redistribución de recursos asignados a usuarios

3.5.4. Localización de códigos

La RNC es responsable de la asignación de códigos únicos para entablar los distintos tipos de transmisión que se llevan a cabo en la red. Dichos códigos son constantemente monitoreados por la RNC, con la finalidad de evitar reusos dentro de la celda o en sus vecinas.

3.5.5. Control de potencia

Este es considerado por los expertos como el control más importante que se puede tener sobre todas las unidades que interactúan en la red UMTS.

En UMTS cada celda de cada Nodo B de la red utiliza exactamente la misma frecuencia. Debido a la gran cantidad de UE, los niveles de interferencia se incrementan gracias a la potencia de transmisión de los mismos, lo que causa una reducción en la capacidad de *uplink*.

A través de ciertos canales, el Nodo B transmite información de la potencia utilizada en la conexión con cada UE; dicha información es usada por la UE para establecer el nivel de potencia mínimo necesario para establecer una conexión inicial con el Nodo B, se recalca la importancia de que debe ser el mínimo necesario, para no crear interferencia innecesaria hacia otras UE. A este control inicial de potencia se le denomina Control de Potencia de Lazo Abierto.

El control de potencia de lazo abierto es una diferencia considerable con respecto a GSM. En dicha red el tema de la potencia no era tan crítico y muchas veces se utiliza el máximo nivel en la transmisión de información.

Una vez que se ha establecido la conexión con un mínimo de potencia, el control de la potencia realiza su más importante tarea; dicho control pasa al Nodo B, el cual se encarga de hacer una revisión periódica de los niveles de potencia usados en el enlace ya establecido, y si es necesaria o no una modificación de los mismos para mantenerlos al mínimo necesario.

Para dicho control se utiliza la medición de la Relación de Señal a Interferencia (SIR por sus siglas en inglés). Si se detecta un desperdicio de potencia, se ordena a la UE que reajuste su potencia. Dicha medición y decisión se realiza cada 0,667ms. A manera de Comparación, en GSM se realiza cada medio segundo aproximadamente. Este control en tiempo real de transmisión se conoce como Control de Potencia de Lazo Cerrado.

La RNC tiene injerencia sobre el proceso de Lazo Cerrado, mediante el ajuste del nivel de decisión del SIR, es decir, el nivel al cual es necesario un ajuste de potencia. Para esto se solicitan constantemente mediciones del nivel de la Tasa de Error de Transmisión de Bits o Tramas, y es analizando dichas tasas que se decide o no cambiar el nivel de decisión del SIR. De esta manera se tiene en cuenta la calidad del servicio prestado en la toma de decisiones para controlar la potencia de transmisión.

3.5.6. Control de relevos

A este concepto y otros relacionados con el mismo, se dedica parte grande el capítulo 4 de este documento.

3.5.7. Macrodiversidad

Esta característica permite a una UE conectarse a más de una celda para transmitir y recibir información; se reciben y envían los mismos datos a través de cada conexión, lo que mejora la calidad de la misma al disminuir los errores. Además, de esta manera se puede usar menos potencia en las conexiones.

3.6. Servicios 3G

En este punto del trabajo de investigación se analizarán de manera breve los distintos servicios prestados por la tecnología 3G, los cuales debido a las velocidades alcanzadas en la transmisión de datos, son de una gama muchísimo mayor que la tecnología 2G puede ofrecer.

Antes de hablar de cada servicio en particular se enumera lista de características que hacen que 3G presente mayor variedad de servicios a ofrecer:

- Tasas de transmisión de datos que en teoría superan los 10 Mbps en las últimas versiones de 3G; en la práctica se consiguen actualmente en nuestro país velocidades de hasta 400 Kbps.
- Gran capacidad de movilidad durante el proceso de transmisión de información, tanto de voz como de datos.
- Calidad de la diferenciación del tipo de servicio para mayor eficiencia en la entrega de información.
- Capacidad de transmisión simultánea de voz y datos.
- Interconexión con redes anteriores como GSM-GPRS.

Antes de tratar el tema de los servicios distintos tanto de CS como de PS que se pueden tener en 3G es necesario entender cómo la red UMTS asigna los recursos dependiendo el tipo de servicio; al momento de establecerse una conexión, la UE envía a la red una solicitud de canal de radio para comunicación con la misma. A esto se le conoce como Control de Recurso de Radio (RRC por sus siglas en inglés).

Al ser escuchada y aprobada dicha solicitud por parte de la RNC, se proceden a solicitar a través de este medio los recursos necesarios para el tipo de servicio que se desea utilizar; dicha solicitud se denomina Portadora de Acceso de Radio (RAB por sus siglas en inglés).

Es en la RNC que se decide el tipo de servicio deseado, si es CS o PS, así como las interfaces a través de las cuales deben ser canalizados.

3.6.1. Servicios de voz

La codificación AMR, previamente analizada, es nuevamente utilizada en 3G. Dicho algoritmo de codificación presenta como ventaja el poder detectar cuando la conversación es llevada en uno o en otro sentido, para así ahorrar recursos en el sentido no utilizado en el momento, además de potencia.

Otra ventaja de usar AMR es que también puede detectar cuando las pérdidas de paquetes de información se elevan, para intentar recuperar dichos paquetes, y de no ser posible, silenciar dicha transmisión para evitar así ruido molesto producido por la errónea decodificación de tramas incompletas de información.

La tasa de transmisión de AMR puede ser variada dinámicamente dependiendo de las condiciones de radio de la transmisión. Generalmente, SF de 128 a 256 son utilizados en la transmisión de voz.

3.6.2. Video telefonía

Debido a las mayores tasas de transmisión de información, y a la mayor robustez en la comunicación, el servicio de video llamadas es parte de los ofrecidos por la tecnología 3G. Para su transmisión se necesita un SF de 64 o menos.

Es de vital importancia para la video telefonía que los retardos de transmisión de información sean del orden de 5 segundos o menos, según pruebas realizadas un mayor retardo hace muy difícil la comunicación entre ambas partes. La tasa de transmisión necesaria para lo anterior depende de la calidad de la imagen transmitida, regularmente oscila entre 40 a 64 Kbps.

No todas las unidades móviles tienen capacidad para efectuar video llamadas, es necesario que posean el *hardware* necesario para enviar imágenes a través de la red.

3.6.3. Imágenes y multimedia

Los mensajes de multimedia (MMS por sus siglas en inglés) son el servicio de transmisión de multimedia más representativo de las redes celulares. Es importante que dichos mensajes sean transmitidos con gran confiabilidad, aunque los tiempos de transmisión pueden alcanzar hasta 1 minuto. Ya que el tiempo de transmisión no es tan crucial como el de una video llamada, se pueden consumir menos recursos de la red para los mismos.

Algo importante es que el usuario usualmente desea enviar un MMS al mismo tiempo que se realiza una conversación telefónica, y la red 3G presenta dicha capacidad como parte de su estructuración.

Otra forma de multimedia es el compartimiento de video en tiempo real, o sea, mostrar al otro usuario lo que está sucediendo de nuestro lado de la comunicación, para este tipo de comunicación el retardo vuelve a ser una prioridad, y presenta los mismos requerimientos de la video llamada, si no es que más estrictos.

3.6.4. Voz sobre IP (VOIP)

Consiste en la utilización de las redes de datos mundiales (*internet*) para el establecimiento y transmisión de llamadas de voz; es decir la voz es convertida digitalmente, y enviada en paquetes de datos a través de la red utilizando un protocolo IP para la misma.

Con la red 3G, la comunicación VOIP no sólo se limita a llamadas de voz, todos los tipos de comunicación multimedia pueden establecerse de dicha manera. Para establecer una comunicación VOIP efectiva es necesario sin embargo, cumplir con los requerimientos de calidad y retardos mínimos establecidos para cada tipo de servicio.

3.6.5. Servicios de navegación por *internet*

Es una de las áreas de desarrollo más importantes de las tecnologías celulares, y como tal, 3G no puede ignorar la misma. El avance en la transmisión de paquetes a través de redes celulares ha hecho que la experiencia del usuario sea más satisfactoria al momento de utilizar los servicios de acceso a *internet* mediante aparatos celulares. La red 3G ha desarrollado características especiales en el manejo de dicha información para lograr obtener enlaces robustos aún en situaciones de movilidad a altas velocidades.

Las UE de las tecnologías celulares modernas pueden usarse para acceder a *internet* de manera directa a través de las mismas, o también de manera indirecta utilizándose como módems para conectar otros equipos.

Es aquí necesario ahondar un poco más en el concepto de Conmutación de Paquetes, ya que la transmisión de datos de navegación en *internet* es realizada mediante ésta.

La principal diferencia entre CS y PS es que para el primero se tiene una conexión dedicada con una tasa de velocidad de transmisión constante en todo momento; mientras que en PS la información se envía en paquetes, los cuales no necesariamente viaja a través de la misma ruta para llegar a su destino. La velocidad de transmisión de PS dependerá de la calidad del canal establecido para lograr dicha transmisión.

Los canales utilizados para la transmisión de información en PS, son el Canal Dedicado (DCH por sus siglas en inglés), Canal Compartido de *Downlink* (DSCH por sus siglas en inglés) y el FACH.

Debido al gran ancho de banda y la utilización de códigos de transmisión, es posible llegar a velocidades teóricas medidas en Mbps, sin embargo, muchos factores limitan el desempeño de la transmisión de PS, por lo que las velocidades comúnmente encontradas sin aplicación de ningún método especial de mejora de transporte de paquetes es del orden de los 400 Kbps aproximadamente.

Existen sin embargo formas de aumentar el desempeño de la transmisión en PS, el cual se estudia a continuación.

3.6.5.1. Acceso a paquetes de alta velocidad

En las secciones anteriores se ha hablado de los tres canales que intervienen en la transmisión de datos, el FACH, DCH y el DSCH. La efectividad en la transmisión sigue este orden, siendo el FACH el menos adaptado para una transmisión sostenida debido a una mala utilización de recursos de ancho de banda; además, no cuenta con un control de potencia efectivo, limitándose a intervenir en transmitir pequeñas cantidades de información.

El DCH es el canal de transporte básico de WCDMA, presenta flexibilidad al poder variar el SF que utiliza dependiendo de la cantidad y el tipo de tráfico que lleva; además presenta control de errores de transmisión, al controlar la potencia de transmisión mediante mecanismo de control de lazo cerrado; sin embargo, para picos altos de transmisión, así como transmisiones a altas velocidades presenta el problema de una reconfiguración de canal más bien lenta.

El DSCH resuelve varios de los problemas presentados por el DCH, presenta la posibilidad de multiplexar en el tiempo (TDM) a varios usuarios, con lo cual se resuelve el problema de la reconfiguración lenta de canal del DCH.

Basado en los métodos de solución de problemas de reconfiguración del DSCH, se ha desarrollado el Acceso a Paquetes de Alta Velocidad (HSPA por sus siglas en inglés), el cual es un método para mejorar la transmisión de datos en PS. Se puede llegar a velocidades del orden de 10Mbps.

Existen dos tipos de HSPA, Acceso a Paquetes de Alta Velocidad de *Downlink* (HSDPA) y Acceso a Paquetes de Alta Velocidad de *Uplink* (HSUPA); ambos serán analizados brevemente a continuación.

3.6.5.1.1. HSDPA

El concepto detrás e HSDPA es el de incrementar la velocidad de bajada de paquetes de datos de la red, utilizando métodos similares a los utilizados en GSM-EDGE; como por ejemplo la rápida adaptación a condiciones de radio, así como una combinación de retransmisiones a nivel de capa 1 mucho más rápida.

Siguiendo la discusión sobre el canal mejor desarrollado para la transmisión de datos, no es sorpresa el que el nombre escogido para el nuevo canal de datos utilizado por HSDPA sea DSCH de alta velocidad (HS-DSCH por sus siglas en inglés). El HS-DSCH ha sufrido modificaciones para lograr las tasas de velocidad establecidas al inicio del apartado, resumiéndose las mismas en la siguiente tabla:

Tabla III. Principales diferencias entre DSCH y HS-DSCH

Característica	DSCH	HS-DSCH
SF Variable	Si	No
Control Rápido de Potencia	Si	No
Codificación y Modulación Adaptativa	No	Si
Operación de Multi-código	Si	Si, Extendida
Rápido HARQ de Capa 1	No	Si
Nota: HARQ son las siglas en inglés de Solicitud Repetitiva Automática Híbrida		

Fuente: HOLMA, TOSKALA; Harri, Antti. *WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. p. 309.

En la tabla III se puede apreciar que tanto el SF variable como el control rápido de potencia, han sido deshabilitados para no disminuir la capacidad de transmisión de datos y la consiguiente velocidad y ancho de banda disponibles para la misma.

El SF se ha establecido en un valor fijo de 16, lo que da una buena resolución y tasa de velocidad de datos, sin dejar a un lado la resolución y la complejidad de la codificación. Además, mucha de la señalización de la transmisión de HSDPA no viaja hasta la RNC, sino que es controlada desde el Nodo B.

Hasta antes de la versión de especificaciones UMTS llamada versión 99, los esquemas de modulación para enviar la información eran del tipo QPSK. En la versión en la que se incluyó HSDPA, el esquema usado puede ser 16QAM, que es más apropiado para picos altos de transmisión. En la tabla IV se resume la operación de HSDPA con distintas modulaciones y utilización de código:

Tabla IV. **Tasas de velocidad teóricas para cada formato de transporte y combinación de recursos**

Formato de Transporte y Combinación de Recursos (FPCR)	Modulación	Tasa de Eficiencia de Código	Tasa de Transmisión (1 Código)	Tasa de Transmisión (5 Códigos)	Tasa de Transmisión (15 Códigos)
1	QPSK	$\frac{1}{4}$	119 kbps	0,6 Mbps	1,8 Mbps
2	QPSK	$\frac{1}{2}$	237 kbps	1,2 Mbps	3,6 Mbps
3	QPSK	$\frac{3}{4}$	356 kbps	1,8 Mbps	5,3 Mbps
4	16QAM	$\frac{1}{2}$	477 kbps	2,4 Mbps	7,2 Mbps
5	16QAM	$\frac{3}{4}$	712 kbps	3,6 Mbps	10,8 Mbps

Fuente: HOLMA, TOSKALA; Harri, Antti. *WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. p. 321.

Uno de los mayores adelantos de la tecnología de HSDPA es la de poder hacer un intercambio en cuanto a eficiencia de potencia o de utilización de códigos para acomodarse al estado actual de la celda desde la que se da el servicio, esto se logra pudiendo utilizar un FTCCR distinto dependiendo de lo que se desee, la eficiencia en la utilización de códigos aumenta a medida que se aumenta el FTCCR, y la eficiencia de potencia aumenta a medida que se disminuye el FTCCR.

Para llegar a las tasas de transmisión esperadas por el uso de la tecnología, es necesario que las UE presenten ciertas características, entre las que podemos citar:

- La capacidad de formar por lo menos 5 enlaces simultáneos con canales HS-DSCH, para facilitar la operación multi-código.
- Un tiempo entre Intervalos de Tiempo de Transmisión (TTI por sus siglas en inglés) mínimo; es decir que el tiempo en que finaliza un TTI y empieza el siguiente sea lo más corto posible, ya que esto significa que se pueden recibir paquetes en HSDPA mucho más rápido.
- Que la UE posea la capacidad de operar bajo modulaciones 16QAM.

Las anteriormente mencionadas son las principales características que las UE necesitan para operar bajo HSDPA, es importante hacer notar que las velocidades de transmisión que se predicen para la tecnología HSDPA, están estrechamente ligadas al tipo de UE que interviene en el proceso.

Algo importante de hacer notar antes de terminar con esta breve descripción de HSDPA, es que la movilidad de estos servicios es más parecida a 2G que a 3G, las razones de esta afirmación serán vistas en el capítulo siguiente.

3.6.5.1.2. HSUPA

A la tecnología HSDPA se le da el título de 3.5G, debido a los avances que presenta en la transmisión de datos; siguiendo el mismo concepto, a la tecnología HSUPA se le ha bautizado como de 3.75G, ya que con su implementación y estrecha relación y uso con HSDPA hace posible, al menos en teoría, una interacción más cercana a estar frente a frente con la otra persona.

HSUPA es complementaria en todo sentido a HSDPA, y ambas tecnologías tienen parecido hablando de una manera netamente técnica. HSUPA permite llegar teóricamente a velocidades de transmisión de datos en *uplink* de hasta 5,8 Mbps.

El canal de transmisión de datos para HSUPA se denomina Canal Dedicado Mejorado (E-DCH por sus siglas en inglés), en el cual se emplean estrategias de adaptación de radio similares a las de HSDPA, a saber:

- Utilización de 16QAM sobre la ya existente QPSK, al igual que en HSDPA.
- TTI mucho menores al utilizar al Nodo B para tomar decisiones que usualmente irían hasta la RNC.
- Implementación de HARQ, al igual que en HSDPA, para controlar los procesos de modulación y toma inteligente de decisiones, además de evitar el uso de controles de potencia y SF variables.

Similar a HSDPA, existe un programador de envío y llegada de paquetes, pero funcionará con base a peticiones y requerimientos de envío por parte de la UE.

4. PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE SERVICIO DE LAS REDES CELULARES

4.1. Introducción

Cualquier organización o grupo organizado que persigue un fin común, debe poseer una manera objetiva de medir qué tanto se ha alcanzado dicho fin; en el mundo moderno se ha hecho un esfuerzo por estandarizar dichas formas de medir el desempeño del grupo, dando como resultado la creación del término: Indicador Clave de Desempeño (KPI por sus siglas en inglés).

Los KPI son parte de un concepto mucho más amplio dentro del estudio de las medidas de calidad, el mismo es conocido como Calidad de Servicio (QoS por sus siglas en inglés), del cual se hará mención en los siguientes apartados. El mundo de las telecomunicaciones también ha tomado el modelo de KPI como una forma objetiva de medir el desempeño de una red. Específicamente para la medición de la calidad de la Radio Frecuencia en una red celular, de estos se han definido varios KPI, en este capítulo se hará un estudio general de los principales, así como de algunos de los problemas que hacen difícil la consecución exitosa de los objetos previstos.

Los principales KPI que se tocarán en el capítulo son:

- Accesibilidad
- Retenibilidad
- Integridad
- Movilidad

4.2. Calidad de servicio (QoS)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU por su siglas en inglés) define la QoS como: “el efecto global del rendimiento de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario de un servicio”.

Como se puede analizar en el concepto anterior, si bien es cierto que se busca una medida objetiva de la calidad del servicio, muchas veces la misma es en cierta manera afectada por la opinión subjetiva de los usuarios de dicho servicio, y su opinión no puede ser pasada por alto, de esta manera, la calidad de servicio de una red de comunicaciones se puede ver bajo dos puntos de vista distintos: el del cliente y el de la red.

En este trabajo de investigación el punto de vista a tomar en cuenta es el de la red, la cual es una medida más objetiva, además de tener relación directa con el tema principal del mismo.

Establecido el punto de vista a utilizar, se puede decir que la calidad de la red será la suma de la calidad individual de cada una de sus partes. Sin embargo, es necesario hacer ver aquí que en lo que respecta al presente trabajo, se estudiará solamente lo directamente relacionado con la radio frecuencia. Y es debido a esto, que los KPI a estudiar son los mencionados en el apartado anterior.

4.3. Muestreo de KPI

Es importante hacer notar que los KPI deben seguir por completo las pautas y procesos estadísticos desarrollados para la obtención válida de datos; los cuales ayudarán a desarrollar un análisis lo más aproximado posible a la realidad de la red. Las redes actuales poseen la facultad de proporcionar toda la información estadística necesaria para el desarrollo de los KPI.

Se pueden obtener los KPI por sistema, es decir promediados en toda la red, por sub sistema, es decir por BSC o RNC dependiendo de la tecnología; y también por celda unitaria.

En cuanto al proceso de obtención de datos, se siguen criterios específicos sobre la granularidad de los mismos, es decir, con qué frecuencia se solicitará a la red que proporcione la información necesaria para la obtención de los KPI. Lo más usual es un monitoreo diario de los mismos, basado en los datos estadísticos obtenidos durante la hora del día de mayor tráfico cursado en la red. Dicho tipo de Monitoreo se conoce como “Hora Pico”.

Existe también la posibilidad, dependiendo de las capacidades de los equipos, de realizar monitoreo estadístico y recolección de datos cada hora, media hora, 15 minutos, etc. Dicho monitoreo generalmente se realiza solamente en ocasiones en que un análisis detallado de cierta celda o sub sistema es requerido por parte de los ingenieros de optimización.

A continuación se hace un análisis de cada KPI obtenido de la manera descrita anteriormente.

4.4. Accesibilidad

Es necesario hacer notar que el parámetro de accesibilidad que se estudiará en este apartado es el de accesibilidad de red, por los motivos expuestos con anterioridad.

Se refiere a la capacidad que posee una unidad móvil de cualquier tipo de acceder a la red, independientemente del servicio que se busque. Se dice que una unidad ha accedido de manera exitosa a la red de telecomunicaciones, cuando consigue entablar una comunicación de doble vía con la misma.

La accesibilidad se puede medir de una manera objetiva al contabilizar todos los intentos exitosos de acceso a determinado canal de una red, y dividirlos dentro del total de intentos en un determinado periodo, como se resume de manera genérica en la siguiente ecuación:

$$\% \text{Accesibilidad} = \left(\frac{\text{Total solicitudes de acceso exitosamente procesadas}}{\text{Total intentos de acceso a la red}} \right) * 100 \quad [6]$$

Para cada tipo de canal de cualquier red celular existe una medición de accesibilidad, la cual marcará el grado de éxito en la solicitud de cualquier tipo de recurso de la red, para realizar las tareas propias de los mismos canales; los cuales dependen del tipo de información que llevan, así como a la red que pertenecen.

El presente se enfoca en la accesibilidad de los canales más importantes, tanto de GSM, como de UMTS.

4.4.1. Accesibilidad por tecnología

En este apartado se sugieren los tipos de accesibilidad por tecnología que deben ser monitoreadas para asegurar un buen funcionamiento de las redes celulares de segunda y Tercera Generación.

4.4.1.1. Accesibilidad en 2G

El concepto de accesibilidad para una red 2G no varía del anteriormente expuesto, y es la posibilidad de ingresar a la red, en este caso especial, a una red GSM. Aquí es menester hacer notar que todos los tipos de accesibilidad de una red deben ser cumplidos para asegurar una buena experiencia en la utilización de la misma; sin embargo, hay dos tipos que debido a su importancia son considerados como críticos para el funcionamiento adecuado de la red, estos son: la Accesibilidad de TCH y la Accesibilidad de SDCCH.

4.4.1.1.1. Accesibilidad de TCH

Como su nombre lo indica, es la capacidad de acceder a un TCH cuando es solicitado por un usuario, para poder así hacer uso de la red, siempre y cuando se cumpla con tolerancias específicas y otras condiciones dadas.

4.4.1.1.2. Accesibilidad de SDCCH

Esta es la capacidad de obtener un canal de SDCCH cuando se le requiere por parte del usuario. Es menester aquí recordar que el SDCCH transporta señalización importante para la correcta implementación del servicio ofrecido, así como toda la mensajería cort; de esta manera una falla en la accesibilidad de SDCCH pone en riesgo la correcta accesibilidad de TCH así como la entrega de mensajes cortos.

4.4.1.2. Accesibilidad en 3G

Al igual que en 2G el concepto de accesibilidad no cambia porque la red sea de una distinta tecnología. Existen dos tipos de accesibilidad en 3G que debido a su importancia es necesario tener bajo constante vigilancia: la Accesibilidad de Control de Recursos de Radio (RRC por sus siglas en inglés), y la Accesibilidad de Portadora de Acceso de Radio (RAB por sus siglas en inglés).

Antes de analizar dichos tipos de accesibilidad es necesario explicar en qué consisten los términos que acaban de introducirse por primera vez en este documento.

RRC y RAB son dos protocolos distintos dentro de la red 3G, la cual es caracterizada por no hacer una diferenciación marcada entre servicios de voz y de datos, ya que los mencionados protocolos utilizan los mismos canales para transmitirse, siendo la única diferencia la cantidad de recursos (conocidos como *channel elements*) que son necesarios para cada tipo de servicio.

Cuando un servicio de 3G es utilizado por un usuario, lo primero que la UE hace es informar a la red que un usuario desea utilizarla, es este estado de notificación el que es conocido como de RRC, y es la primera aproximación de la UE a la red al momento de iniciarse un servicio. Al ya haber establecido esta primera aproximación, la red inquiriere sobre el tipo de servicio al que se desea tener acceso, en este momento la UE envía dicha información y la red reconoce el tipo de servicio, así como la cantidad de recursos a utilizar. A lo anterior se le conoce como RAB, y es el paso previo a la interacción del usuario con la red.

Como se puede inferir del párrafo anterior, es necesario que exista un RRC para poder pasar a un RAB, pero también es cierto que se pueden tener problemas en RAB sin que por ello existan en RRC. Por lo anterior, ambos tipos de accesibilidad deben ser monitoreados.

4.4.1.2.1. Accesibilidad de RRC

Es la medición porcentual de cuántas solicitudes de acceso a la red (RRC) han sido exitosas sobre un total contabilizado en el sistema.

4.4.1.2.2. Accesibilidad de RAB

Consiste en la medición porcentual de cuantas solicitudes de RAB son atendidas exitosamente por el sistema, de un total contabilizado.

4.4.2. Problemas que afectan la accesibilidad

Hay una serie de situaciones que afectan la accesibilidad tanto de las redes 2G como de las 3G, las mismas deben ser detectadas por los ingenieros de optimización para poder solucionarlas. Entre las más importantes podemos mencionar las listadas a continuación.

4.4.2.1. Congestión

El fenómeno de la congestión consiste en que se tienen muchísimas más solicitudes de acceso a la red de las que la red puede soportar; esto se debe solucionar mediante una distribución inteligente de los recursos en las áreas donde la demanda es alta, mediante balanceo de tráfico entre los sitios que se encuentran cercanos al afectado; si ya nada de esto puede hacerse, se debe expandir la capacidad del sitio afectado mediante la adición de *hardware*.

La congestión no se limita a las celdas, también existe congestión en el *core*, por no estar adecuadamente dimensionados los enlaces y canales de transporte de información, así como los codificadores o *transcoders*, esto produce una serie de problemas en los KPI tanto de *core* como de radio.

4.4.2.2. Interferencias y Co-canales

Si por algún motivo se encuentra cercana al sitio una fuente de interferencia, propia o ajena, es muy probable que se tengan problemas de accesibilidad, ya que las solicitudes nunca llegan a la red, o los mensajes de aceptación a las terminales, por lo que se contabilizan como fallos de accesibilidad.

4.4.2.3. Mal funcionamiento de equipo

Cualquier deterioro o mal funcionamiento en el equipo de transmisión, así como en el sistema radiante, o en una UE, puede llevar a una incapacidad de la red para atender las solicitudes de acceso por parte de las UE, lo que lleva al sistema a tomar dichas complicaciones como problemas de accesibilidad.

4.5. Retenibilidad

Dicho KPI se define como la habilidad de la red para que un servicio, una vez obtenido, se mantenga hasta que el usuario así lo determine, siempre y cuando se cumpla con una serie de condiciones dadas, como autorización por parte de la compañía al tipo de servicio solicitado, saldo suficiente para realizar dicho servicio por el tiempo solicitado, batería de la UE suficiente para mantener el servicio el tiempo requerido, etc.

La manera en que este KPI se mide estadísticamente es contabilizando todas las llamadas que exitosamente fueron completadas, divididas dentro del total de llamadas inicializadas, también exitosamente, como se puede observar en la siguiente ecuación:

[7]

$$\% \text{Retenibilidad} = \left(\frac{\text{Total llamadas completadas}}{\text{Total llamadas exitosamente inicializadas}} \right) * 100$$

La anterior fórmula es genérica, ya que aplica para todos los tipos de servicios que una red celular provee, sean llamadas de voz, mensajería, servicios de *internet*, entre otros.

4.5.1. Retenibilidad por tecnología

Se hará a continuación un análisis de las principales características de la retenibilidad tanto de las redes 2G, como de las redes 3G.

4.5.1.1. Retenibilidad en 2G

Como se hace referencia en el estudio del concepto de accesibilidad para redes 2G, específicamente para redes GSM, existen 2 tipos de canales principales por los cuales la mayoría de los servicios de transporte de información, específicamente de servicios, son enrutados; dichos canales son los canales TCH y los SDCCH. Para efectos de un control efectivo de la retenibilidad de uno o varios elementos de red, es necesario monitorear estos mismos canales.

4.5.1.1.1. Retenibilidad de TCH

Esta no es más que la capacidad del sistema para evitar que una llamada sea interrumpida sin que el usuario final lo requiera, siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones predefinidas como por ejemplo saldo suficiente, permisos por parte de la compañía telefónica, etc.

Es común que la medición de retenibilidad se haga mediante el monitoreo del complemento de la misma para llegar al valor del 100%, es decir, mediante la medición de los fallos o caídas en el servicio.

4.5.1.1.2. Retenibilidad de SDCCH

La estadística de Caídas de SDCCH es usada para monitorear qué tan bien el uso de estos canales es retenido y preservado por el sistema. Compara el número total de pérdidas por RF (mientras se utiliza SDCCH), como un porcentaje del total de intentos exitosos de solicitud de canales SDCCH. Esta estadística tiene la intención de mostrar qué tan bien la celda o sistema están preservando las llamadas. La fórmula siguiente resume lo anteriormente descrito:

[8]

$$\% \text{Caídas SDCCH} = \left(\frac{\text{Total caídas de SDCCH}}{\text{Accesos exitosos a SDCCH}} \right) * 100$$

4.5.1.2. Retenibilidad en 3G

Para el estudio de accesibilidad en 3G se definieron dos estados o protocolos distintos, en los cuales se puede descomponer la utilización y autorización de recursos para una interacción con dicha red; dichos estados son el RRC y el RAB, y ambos son monitoreados para asegurar un buen record de acceso a la red.

Para el caso del monitoreo de la retenibilidad, una estrategia aceptada es el monitoreo únicamente del estado RAB, ya que es en este momento cuando el usuario está haciendo uso consciente del servicio de su elección.

De manera similar al monitoreo en 2G, en 3G se monitorea de manera más usual el comportamiento de las caídas, una vez establecido el RAB o tipo de servicio a utilizar. En la siguiente fórmula se resume la estrategia a seguir:

[9]

$$\% \text{Caídas RAB} = \left(\frac{\text{Total caídas de RAB}}{\text{Accesos exitosos a RAB}} \right) * 100$$

4.5.2. Problemas que afectan la retenibilidad

Hay una serie de situaciones que afectan la retenibilidad tanto de las redes 2G como de las 3G, las mismas deben ser detectadas por los ingenieros de optimización para poder solucionarlas. Entre las más importantes podemos mencionar las listadas a continuación.

4.5.2.1. Bajos niveles de señal

Una de las causas más comunes de problemas en la retenibilidad de servicios de redes celulares, es el resultado de la pérdida de condiciones favorables en cuanto a niveles de señal de RF. Si el canal de RF establecido entre una UE y una celda en específico se degrada debido a la lejanía del enlace, y no existe otra radiobase cercana que pueda asistir a dicho enlace, éste será interrumpido irremediablemente al ya no poseer el canal las condiciones necesarias para sostener una transmisión de información libre de errores.

Para el problema mencionado, la única solución muchas veces es la de contemplar la posibilidad de implementar un nuevo sitio, para que la cobertura de señal de la red sea aumentada en el grado necesario.

4.5.2.2. Interferencia

Es la otra gran causa de problemas de retenibilidad en las redes celulares. Existirán caídas de llamadas y de servicios de telefonía celular en general, si el canal por el cual se transmite la información, tanto de señalización como de datos, sufre algún tipo de interferencia, propia o ajena. La red no podrá entender la información interferida, y por lo tanto, la llamada o servicio quedará sin respuesta por alguno de los lados, con lo cual el servicio será abruptamente terminado.

Para este tipo de problema se recomienda analizar la fuente de la interferencia y, si es propia, realizar una corrección al plan de frecuencias utilizado para el servicio. Ahora, si es ajena, se debe proceder a notificar a quien sea responsable de la misma que está infringiendo la ley, por lo que debe terminar con dicha fuente de interferencia.

4.5.2.3. Congestión

Ya se analizaron los problemas que la congestión causa para la accesibilidad. Ahora se estudian los que causa en la retenibilidad de servicios, ya que la misma es responsable de muchos de los mismos.

Si se necesita que una celda vecina auxilie a una portadora de una llamada, debido a que las condiciones del canal se han degradado, pero la misma está congestionada, no podrá asistir a su vecina, con lo que el servicio será perdido y se tendrá la caída en la vecina. Este tipo de caídas son difíciles de diagnosticar ya que no se dan en la celda congestionada sino que en sus vecinas.

En 2G específicamente, el KPI más afectado en retenibilidad, es el de SDCCH, ya que la congestión hace que mucha de la señalización y solicitudes enrutados a través de SDCCH sean perdidas. Tan grande es este efecto, que uno de los principales indicadores de problemas de congestión en las redes de 2G es el de las caídas de SDCCH.

4.5.2.4. Planificación inadecuada de vecindades

Si las condiciones de radio y congestión no son problema, pero se tiene alto porcentaje de llamadas caídas en celdas, es necesario revisar si se tiene bien declarado hacia qué celdas la afectada debe ser capaz de pasar el servicio cuando el mismo se genera desde una UE en movimiento. Si no se han declarado bien a sus celdas vecinas la llamada será perdida.

4.5.2.5. Daño en equipo de radio bases

Si se presentan daños a nivel de antenas y conectores, el servicio en general de la red hacia los usuarios cercanos se verá afectado.

No es necesario que haya problemas físicos con el equipo, si por alguna razón las antenas están mal direccionadas el servicio no será óptimo, y los KPI de retenibilidad y de accesibilidad se verán afectados.

4.5.2.6. Problemas de carga de batería de UE

Si el equipo del usuario tiene algún problema, o si no ha sido cargado de manera correcta, al momento de llegar a niveles críticos de descarga la llamada será terminada abruptamente, y la red la tomará como una caída por causas desconocidas.

Este tipo de caídas no tiene tanto impacto en las redes celulares como los anteriores.

4.6. Integridad

Esta se refiere a la calidad que la red puede ofrecer al usuario mientras alguno de los servicios ofrecidos está en uso. No existe diferencia entre servicios de voz y de datos para este KPI, existen maneras objetivas de analizar qué tan buena es la experiencia del usuario al usar un servicio.

4.6.1. Integridad en servicios de voz

Cualquier operador de red celular, al ofrecer servicios de voz, busca como fin último la total satisfacción del usuario a la hora de comunicar o transmitir información a través de un medio inalámbrico.

Irónicamente, esto se logra con mayor éxito al conseguir que dicho usuario, al utilizar el servicio de voz para transmitir sus ideas, logre olvidar que se vale de dicho medio para la descrita tarea; es decir que se busca que tenga la impresión de estar comunicando sus ideas directamente, sin necesidad de intermediario alguno.

Cuando se habla de integridad en el servicio de voz se hace referencia a lo anterior, se considera una excelente integridad en dicho servicio, al ser la red capaz de transmitir la voz de tal forma que el usuario tenga la impresión de que la persona con quien habla, se encuentra presente y cerca de él.

Para medir objetivamente esta “sensación de cercanía”, se han desarrollado estándares y algoritmos comparativos, los cuales nos indican mediante calificaciones tabuladas, que tan aproximada se encuentra determinada transmisión al sonido que originó dicha transmisión. Entre estos podemos mencionar al denominado Evaluación Perceptiva de la Calidad de Habla (PESQ por sus siglas en inglés), el Índice de Calidad de Habla (SQI por sus siglas en inglés), entre otros. La mayoría de algoritmos y estándares se basan en la Calificación Media de Opinión (MOS por sus siglas en inglés) en su operación.

4.6.2. Integridad de servicios de datos

Al analizar ahora la Integridad en la transmisión de datos, se hace referencia a aspectos un poco diferentes que cuando se miden para la voz. Como primer punto se puede hacer referencia a la integridad del canal utilizado para la transmisión de los paquetes de datos; que tan íntegro es dicho canal se puede medir mediante la obtención de la Tasa de Error de Bits (BER por sus siglas en inglés), que como su nombre lo indica, nos da un estimado porcentual de qué tantos bits de los enviados se recibieron correctamente en el destino.

Otra manera de medir la integridad del servicio de datos es mediante el monitoreo del tiempo de navegación, es decir, el tiempo que necesita el usuario para recorrer todo el trayecto existente entre la entrada del servicio, y la página o sitio de red al que se desea tener acceso.

Una forma útil de conocer el grado de integridad en el servicio de entrega de información en forma de paquetes de datos, es la de medir la velocidad a la que los mismos son enviados a través del canal establecido para dicha actividad. Una variante del mismo sería la de medir la cantidad de servicios exitosos durante un determinado período de tiempo.

4.6.3. Factores que afectan la integridad

Básicamente todos los factores que afectan a la accesibilidad y la retenibilidad, son también determinantes en la percepción del servicio por parte del usuario.

4.7. Movilidad

La movilidad se expresa como la propiedad de la red de brindar el servicio deseado sin importar que el usuario se movilice de un lugar a otro dentro del área de cobertura.

Para cumplir con dicho KPI, la red posee la habilidad de transferir el servicio brindado a un usuario en movimiento, desde la celda donde se originó hacia la celda más próxima que tenga el mejor nivel de cobertura en la cercanía de la celda inicial. Este concepto se conoce como relevo, o *handover*, en inglés. Los factores que afectan la movilidad son generalmente la interferencia, una mala cobertura o una mala planificación de vecindades de la red. De este concepto se tratará más a fondo en el capítulo 5.

5. MOVILIDAD EN REDES CELULARES

5.1. Concepto de movilidad

Si bien en el capítulo anterior se desarrolló un concepto de movilidad como un KPI útil en la medición del adecuado desempeño de una red de telefonía celular; dicho concepto es trascendental no sólo como KPI, sino como una de las características más importantes de las redes celulares.

La movilidad se define según el Diccionario de Real Academia de la Lengua como la “cualidad de movable”, es decir, la capacidad de cualquier objeto o ser animado de cambiar de posición en el espacio a voluntad propia o ajena. Y es dentro de este concepto que tal cualidad cobra singular importancia para la tecnología celular. La idea básica de cualquier generación o tecnología de comunicación celular consiste en permitir a los usuarios de la misma estar comunicados siempre, no importando si ellos están moviéndose de un lugar a otro.

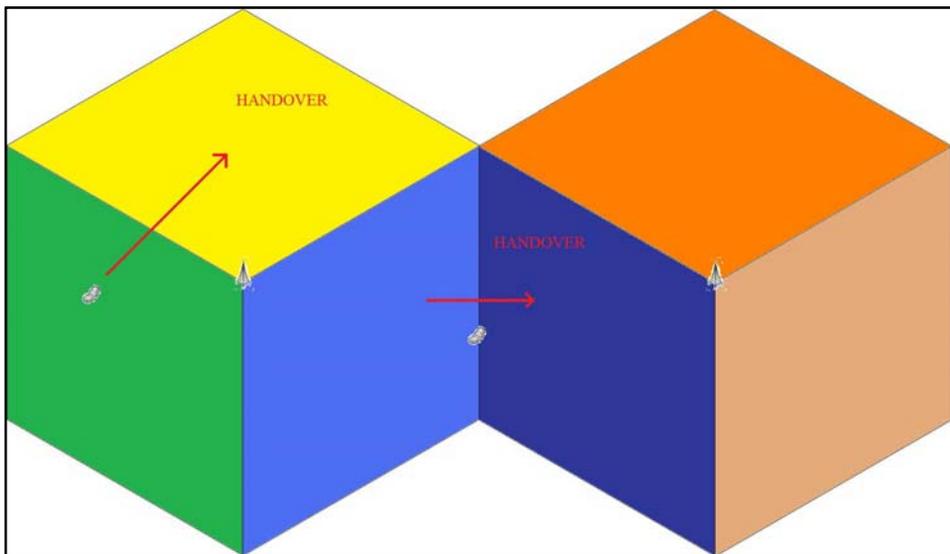
Debido a lo anteriormente expuesto, el concepto de la movilidad dentro de una red es una característica sumamente cuidada en el desempeño de la red, básicamente se puede hacer corresponder la importancia del resto de los KPI con el de la movilidad, ya que todos persiguen el permitir al usuario una experiencia agradable al utilizar la red, sin importar que el mismo se esté moviendo.

Es por esta importancia que se dedica un capítulo aparte al concepto de la movilidad, y al de una de las características de la red que la hace posible: el relevo o *handover* (HO por sus siglas en inglés).

5.2. Concepto de HO

Sin previa disertación al respecto, a continuación se expone el concepto del relevo o *handover*: se denomina así al proceso de transferir a un usuario del sistema celular de un canal, celda, estación base, o red hacia otro elemento similar. Se hará énfasis en la variedad de *handovers* existentes, los cuales serán desarrollados brevemente en el capítulo.

Figura 19. **Ejemplo gráfico del relevo o *handover***



Fuente: elaboración propia.

Como complemento, podemos decir que las características de un buen HO son:

- Es realizado rápidamente
- Capaz de desarrollarse entre frecuencias
- Imperceptible al usuario
- Completarse exitosamente

En la medida que se den las características establecidas para el HO, se podrán tener los resultados que este trabajo de investigación persigue.

5.3. Desarrollo básico del HO

El primer paso del desarrollo de un HO es el momento cuando la red detecta que debe llevarse a cabo; debido a la complejidad del mismo, esto generalmente ocurre cuando no existe otra opción. Sin embargo, como se verá más adelante, existen maneras de lograr un HO a voluntad y para el buen funcionamiento de una red de telecomunicaciones.

Cuando el HO se lleva a cabo, es necesario re dirigir la ruta por la que la llamada que está siendo cursada vaya hacia el nuevo elemento de red, que está en comunicación con la UE, cambiando el canal de la transporte si es necesario. El proceso es realmente complejo, y no es de extrañar, que en los primeros sistemas celulares fuera por esta causa que se perdieran más llamadas.

Hay un buen número de parámetros que deben ser considerados para determinar si un HO es necesario o no, entre ellos: la potencia de la señal del elemento o red a la que se destina la llamada, la de los elementos de red transmisores que se encuentran en las cercanías, además que la disponibilidad de canales debe ser conocida. La UE es la más apropiada para monitorear los niveles de señal de los elementos cercanos, pero es la red la que reconoce el estado de disponibilidad de los canales, por lo que es ella la que detecta el momento apropiado cuando se realizará el HO, tomando en cuenta los demás elementos que participarán en el mismo.

La UE monitorea constantemente, pues, los niveles de señal de la celda que la sirve, así como la de las celdas vecinas; cuando detecta que los niveles de potencia de sus servidoras han bajado a niveles en los que el servicio solicitado está en peligro de cortarse abruptamente, la red verifica el reporte enviado por la UE y evalúa si es recomendable o no pasar el servicio a una nueva servidora. A continuación revisa la disponibilidad de canales de la celda escogida para recibir el servicio, si existe un canal disponible, el mismo es reservado. Cuando todo está listo, el servicio que se lleva en la celda cuyos niveles de potencia decrecen, es trasladado al canal reservado de la nueva servidora. Una vez hecho el cambio, la UE informa a la red que el proceso fue exitoso.

Si el mismo es detectado de forma correcta por la red, entonces el proceso se completa y la misma corta toda comunicación referente al servicio trasladado con la servidora antigua, con lo cual se liberan los recursos que la misma estaba utilizando.

5.4. Tipos de HO

Con el advenimiento de WCDMA como una nueva tecnología en la que la misma frecuencia es utilizada por los elementos de red, los ya distintos tipos de HO se incrementaron aún más, se procederá a dar una breve explicación de cada uno de los más relevantes para este trabajo investigación:

5.4.1. HO dentro de la celda

Es conocido mayormente por su nombre en inglés: *Intra Cell* HO, el mismo consiste en un cambio, dentro de la misma celda, del canal de transporte utilizado en la comunicación con la UE, dicho cambio puede obedecer a problemas de interferencia de la frecuencia o frecuencias utilizadas por dicho TCH, esta es una estrategia para mantener la llamada, y por ser prácticamente igual al proceso de HO externo se toma en cuenta dentro de esta clasificación.

5.4.2. HO entre frecuencias

Como su nombre lo indica, es llevado a cabo cuando debe de trasladarse un servicio de un canal específico de su actual servidora hacia un canal que opera a una frecuencia distinta, este tipo de HO es muy común en los sistemas GSM, debido al uso de múltiples frecuencias en las distintas celdas.

5.4.3. HO dentro de la misma frecuencia

Este es el tipo de HO utilizado por WCDMA, ya que es el traslado del servicio hacia una nueva servidora que utiliza la misma frecuencia de transmisión que la anterior, diferenciándose por el SC utilizado.

5.4.4. HO duro

Más comúnmente conocido como *Hard* HO por su nombre en inglés, es aquel en el que la conexión entre servidora original y UE debe ser cortada previamente al paso hacia una nueva servidora. Un ejemplo del mismo es el HO entre frecuencias, ya que una UE promedio no puede transmitir en varias frecuencias al mismo tiempo, es necesario que finalice una comunicación, para poder empezar una nueva en una distinta frecuencia de una distinta servidora. Existe una interrupción de la comunicación, pero es tan corta, que el usuario no la puede percibir.

5.4.5. HO suave

Las tecnologías WCDMA son responsables de la existencia de este HO, ya que en la misma es posible tener celdas vecinas operando a la misma frecuencia, esto abre la posibilidad de inicializar el proceso de HO sin que sea necesario cortar previamente la comunicación de la UE con la antigua servidora, este proceso se conoce como HO suave, o más comúnmente por su término en inglés, *soft HO*, de esta forma en WCDMA es común que las UE tengan conexiones con más de una servidora, lo que es aprovechado por una característica 3G denominada Macro-Diversidad, la cual será explicada a continuación.

5.4.5.1. Macro-diversidad

Con este término se denomina a un específico esquema de diversidad, es decir, a un sistema de transmisión de información que busca una mejora en su desempeño, mediante el uso de más de un canal de comunicación para el transporte. La diversidad combate problemas como el de desvanecimiento de señal e interferencias de co-canal.

La Macrodiversidad consiste, pues, en un esquema de diversidad en el cual se utilizan varias antenas transmisoras y/o receptoras, para enviar el mismo mensaje. La distancia que existe entre dichas antenas y la UE es generalmente de varias longitudes de onda, de allí el término Macro.

5.4.6. HO más suave

El término universalmente utilizado para nombrar a este HO es el de *softer HO*; y es un tipo especial de *soft HO*, en el que las celdas que proporcionan la macrodiversidad pertenecen al mismo nodo B, es decir son dos sectores distintos de la misma radiobase.

Se le da un término especial debido a que este tipo de HO utiliza la misma interfaz de comunicación entre radiobase y central, a diferencia del *soft* HO, donde comúnmente cada celda utiliza una interfaz distinta para comunicarse a la central.

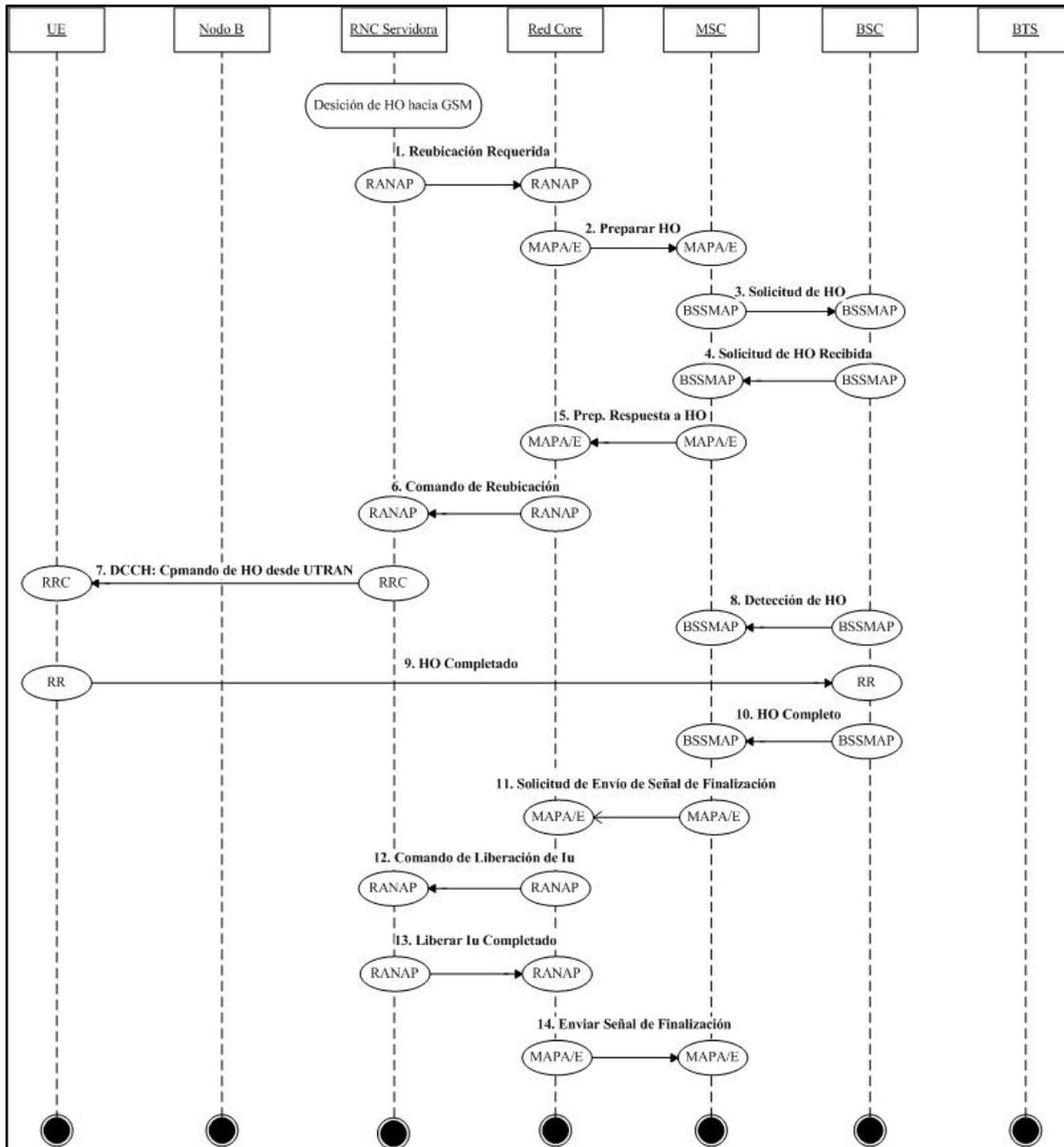
5.4.7. HO entre tecnología

Este tipo de HO pertenece a los *hard handovers*, pero se trata aparte por ser de vital importancia en el desarrollo del presente documento; este HO se caracteriza por trasladar la información entre 2 redes distintas, con diferentes generaciones de tecnología por lo regular, debido a múltiples razones. Este es el más difícil de llevar a cabo, pero su correcta utilización puede mejorar considerablemente el desarrollo de ambas redes involucradas. Es universalmente conocido con el término de *interrat* HO, o IRAT HO.

5.4.8. Procedimiento del IRAT HO

Los IRAT HO son importantísimos para UMTS ya que, por lo menos en un principio, la cobertura de dicha red no será total. Por lo tanto, y como ya se ha dicho anteriormente en este documento, trabajar en conjunto con la red GSM es de carácter obligatorio, por lo menos en un principio, sin embargo, por lo menos dos redes cada una con un sinnúmero de elementos y procedimientos están involucradas en dicho HO, lo cual nos deja con la certeza que realizar exitosamente un IRAT HO es una tarea sumamente compleja. En la figura 20 se explica a grandes rasgos dicho proceso.

Figura 20. Secuencia paso a paso de IRAT HO



Fuente: FORKEL, Schmocker, et al. *WCDMA Cell-Specific Optimized Parameterization of Compressed Mode Operation and Inter-System Handovers in UMTS/GSM Overlay Networks..* p. 2.

El IRAT HO se inicia mediante la detección de una determinada señal, que trabaja a manera de catalizador para la iniciación del proceso, dicha señal proviene del protocolo de Control de Radio, o RRC por sus siglas en inglés, el cual es a su vez UE. La RNC envía entonces un mensaje al core usando la interfaz conocida como Parte de Aplicación de Red de Radio, o RANAP por sus siglas en inglés. Dicho mensaje es el de “reubicación de llamada requerida” (1).

El *core* de UMTS reenviará entonces dicho mensaje hacia la MSC del área en la que se encuentra la UE, mediante la interfaz conocida como Parte de Aplicación del Móvil, o MAP/E por sus siglas en inglés; dicha interfaz se diseñó en un principio para comunicación entre distintas BSC, pero ha demostrado ser muy eficiente para una comunicación entre distintas tecnologías.

El mensaje RANAP enviado es el de “preparar HO” (2), a lo que se establecen los mensajes de “solicitud de HO”(3) y “solicitud de HO recibida”(4), estos dos últimos son parte ya de los procedimientos de GSM y son mostrados únicamente por cuestiones didácticas. Cuando todos los preparativos han sido realizados del lado de GSM, éste envía el mensaje RANAP de “preparada respuesta de HO”(5).

CN responde a la petición inicial de la RNC respondiéndole con el siguiente mensaje RANAP: “comando de reubicación”(6).

A través de una conexión de RRC existente, la RNC servidora envía el siguiente mensaje: “HO desde UTRAN”(7) hacia la UE. Uno o varios mensajes desde el otro sistema pueden ser incluidos en dicho mensaje. Los procedimientos relacionados a la sincronización en GSM no son analizados ni mostrados en el diagrama. Los pasos (8), (9) y (10) son procedimientos regulares dentro de GSM y solamente se muestran por tener mayor claridad.

Ya una vez realizada la detección de la UE en la red GSM, la MSC envía el siguiente mensaje MAP/E: “solicitud de envío de señal de finalización” al *core*; el cual inicia la liberación de recursos utilizados para la comunicación con la anterior RNC servidora, mediante el envío del mensaje MAP/E: “Comando de liberación de Iu”(12). Del lado de 3G también se liberan recursos mediante comandos similares; este procedimiento es finalizado mediante el mensaje: “liberación de Iu completada”(13).

El procedimiento concluye desde el punto de vista de UMTS mediante el envío del mensaje MAP/E “envío de finalización completado”(14).

Todo el proceso de HO es transparente para la UE, a excepción del mensaje de los reportes de nivel de señal, y la reconfiguración de señal portadora por la que atraviesa al pasar de UMTS a 3G o viceversa.

5.4.8.1. Operación del modo comprimido

El proceso de HO en tecnologías basadas en FDD, como es el caso de GSM, necesita para su correcto desempeño el que exista una forma en la que la red pueda acceder y monitorear varias frecuencias al mismo tiempo, si esto se cumple, la red podrá ser capaz de transferir la información alojada en un canal de frecuencias origen hacia un canal de frecuencias destino.

Para el proceso de IRAT HO se deben monitorear tanto la frecuencia en la que está operando la red origen, como la frecuencia en la que opera la red destino; esta dualidad en el monitoreo siempre es necesaria, no importando el tipo de modulación utilizada en la misma.

Las UE tienen dos maneras de realizar el citado proceso de monitoreo de frecuencia, pueden poseer dos transceptores, uno para cada frecuencia, o bien periodos de tiempo vacíos dentro de su trama de transmisión, para poder monitorear con ellos una segunda frecuencia. Debido a que un segundo transceptor es sumamente difícil de implementar, la introducción de un modo de operación dividido en intervalos de tiempo parece ser la opción más favorable. Este tipo de operación es llamado en UTRAN como de Modo Comprimido (CM por sus siglas en inglés).

El proceso total de IRAT HO es basado en un modelo de tres estados, los cuales son: operación regular en UMTS, modo comprimido y el modo a la deriva de GSM. Los cambios de red pueden realizarse entonces desde el modo normal al modo comprimido, y de este hacia el modo a la deriva de GSM, y de este último hacia el modo normal de UMTS nuevamente. No es posible pasar de una red a otra sin antes medirla, es este el propósito del modo comprimido.

El algoritmo que rige la transición entre redes del IRAT HO es accionado por uno o varios factores a elección del operador: calidad de la señal, nivel de intensidad de la señal, o la combinación de ambos. Es decir, es posible indicar un valor de intensidad de señal, o de calidad de la misma, tal que al ser detectado, sirva de gatillo que active el CM.

Existen tres métodos de modo comprimido propuestos por el estándar de UMTS:

5.4.8.1.1. Método de puncionado

Una manera de ahorrar tiempo a la hora de transmitir es remover algo de la información enviada, especialmente los bits de paridad, al codificarse la transmisión se recupera lo perdido por la eliminación voluntaria.

Este método es especialmente aplicable cuando se envía información combinada entre TCH y PCH, donde el aparejado de tasa de velocidad es hecho mediante secuencias repetitivas.

5.4.8.1.2. Reducción del SF

Reduciendo el SF a la mitad, el doble de información será transmitida durante el mismo intervalo de tiempo. En FDD solamente se podrá reducir el SF si el mismo es mayor que 4, ya que dicho número es el mínimo permitido. Otra consideración que deberá hacerse es el hecho de que se necesitará obligatoriamente tener una mayor relación señal a ruido, ya que una mejor calidad de RF será necesaria para transmitir la información con la misma efectividad que con una codificación más robusta.

5.4.8.1.3. Organización de capas superiores

La transmisión de información de capas superiores puede ser organizada y pospuesta para otro instante de tiempo mientras se realiza el CM.

5.5. Grupos de celdas durante el HO

Durante el proceso de HO varias celdas entran en escena, y es de vital importancia entender el papel de cada una de ellas.

Si el HO es Duro tendremos primeramente a la celda servidora, que es en la que la UE se encuentra acampada al momento de HO; es decir, esta es la celda de la cual la UE recibe la señalización y el espacio para transmitir su información a la red. La segunda celda en participar es la receptora, la que recibirá la transmisión de la UE, sin que ésta se interrumpa.

Para el HO suave, el número y tipos de celdas en participar aumenta, Ya que el mismo se realiza de una manera menos traumática para los elementos de red. El primer grupo consiste en el Grupo Activo (AS por sus siglas en inglés), que es el grupo de celdas que tiene ya establecido radioenlace con la UE a la que se le presta el servicio.

El siguiente grupo de celdas lo constituyen el Grupo de Vecinas (NS por sus siglas en inglés), que como su nombre lo indica, son las celdas que son candidatas a establecer HO, o a volverse parte del AS. Es importante hacer notar que, siempre y cuando el límite de celdas que pueden conformar el AS no haya sido alcanzado, no es necesario que exista una salida del AS para que una nueva celda forme parte de dicho grupo. El NS se conforma mediante procesos algorítmicos, que involucran los listados de vecinas declaradas para cada una de las celdas que conforman el AS.

Existe un tercer grupo, llamado el Grupo Monitoreado (MS por sus siglas en inglés), el cual lo constituyen celdas que si bien no están dentro del listado del NS, son detectadas como posibles candidatas a volverse parte de él, o inclusive, del AS si se da la situación de que esto sea de importancia para asegurar la calidad del servicio prestado.

Todas las adiciones, cambios y sustracciones de celdas de los listados anteriores, son gobernados por una serie de mediciones constantes de los niveles de señal y que disparan distintos eventos, los cuales pueden ser encontrados en el apéndice 1.

6. TÉCNICAS DE MANEJO DE IRAT HO PARA UN BUEN DESEMPEÑO DE REDES CELULARES DE SEGUNDA Y TERCERA GENERACIÓN

6.1. Introducción

En este capítulo se tratan aspectos relacionados con la definición de parámetros que controlan la facilidad de realizar el IRAT HO por parte de la red de comunicaciones.

Se inicia dando conceptos importantes en el desarrollo de los temas del capítulo, tras lo cual se da una serie de directrices en cuanto al IRAT HO, las cuales es recomendable que se apliquen a manera de valores iniciales, para una red de tecnología superior (en este caso 3G), naciendo sobre una red considerada como “madura” debido al tiempo en operación y optimización.

Se finaliza analizando maneras específicas de trabajar y optimizar el IRAT HO para la mejora de determinados KPI, en sitios específicos donde los parámetros recomendados no son una buena opción debido a razones puntuales.

6.2. Superposición de redes celulares

Se le denomina superposición de redes celulares a la existencia de más de una red dentro de la misma ubicación geográfica, de hecho, este concepto abarca solamente el tema que interesa a este documento; la superposición existe aunque solamente exista una red, cada uno de los elementos de la misma está superpuesto y esto hace posible la comunicación.

En términos de superposición en una sola red, es recomendable que sea de un máximo de 30%, sin embargo, el tipo de superposición de varias redes al que el ingeniero actual se enfrenta es de valores de hasta 100%.

Lo anteriormente expuesto se hace sumamente importante, ya que la tendencia moderna en cuanto a utilización de redes celulares, hace necesario que si dos redes de distinta generación, y que son parte de un servicio integral dado por una compañía de telecomunicaciones que comparten el mismo espacio geográfico, ambas deberán ser diseñadas de tal forma, que lejos de crear un conflicto por superposición, aprovechen la misma para un desempeño aún mejor que el que podrían ofrecer cada una por separado.

El hecho de buscar como objetivo que las redes superpuestas ofrezcan un servicio mucho mejor que el que dan por separado, se debe a que hay ciertas ventajas que una red tendrá sobre la otra, no importando si la generación de una con respecto a la otra es más o menos reciente. En el caso de las redes de Segunda Generación, su ventaja consiste en la robustez que las mismas han alcanzado en los años de servicio que le llevan de ventaja a las 3G; éstas a su vez, presentan como ventaja el poder ofrecer una mayor cantidad y calidad en los servicios ofrecidos.

Este trabajo de graduación busca dar a conocer quienes lo lean, una serie de métodos con los cuales es posible aprovechar los recursos de la red GSM para ayudar al desempeño de la red 3G. Dichos métodos están íntimamente relacionados al manejo adecuado de la superposición de las redes, las que, al ser trabajados adecuadamente, aportarán una serie de ventajas en el servicio que presten al usuario final.

Los procesos que llevan a un desempeño adecuado de la superposición de redes de Segunda y Tercera Generación, son los relacionados al IRAT HO entre las mismas, por lo que se analizarán a fondo ciertas características de este último.

6.3. Mejoras esperadas con el análisis de IRAT HO

Es importante hacer notar el objetivo de un análisis e implementación de técnicas de IRAT HO para una pareja o grupo de redes celulares que, debido a la superposición, se encuentran interactuando las unas con las otras.

Como se vio en capítulos anteriores, una manera acertada de medir el grado de servicio (por lo menos en RF), que se da a los usuarios de una red celular, es mediante el monitoreo de los KPI establecidos con anterioridad.

Es la mejora de dichos KPI lo que impulsa a la creación de este documento, y mediante la correcta implementación de algunas de las ideas presentadas en este capítulo, se podrá apreciar un mejor grado de servicio en general.

6.4. Tipos de celdas según sus condiciones de vecindad

Antes de analizar las posibilidades a la hora de optimizar el IRAT HO, es necesario hacer hincapié en una necesaria diferenciación de las celdas de la red UMTS en tres grupos, según sus características de relaciones de vecindad:

6.4.1. Celdas núcleo

Dichas celdas tienen como característica bastante común, aunque no necesaria, el encontrarse en las regiones centrales y más aglutinadas de la red, es decir, son un grupo de celdas que tienen, debido a la alta densidad de las mismas en el sector, una reducida cobertura y una gran cantidad de vecinas cercanas a ellas.

6.4.2. Celdas de cobertura

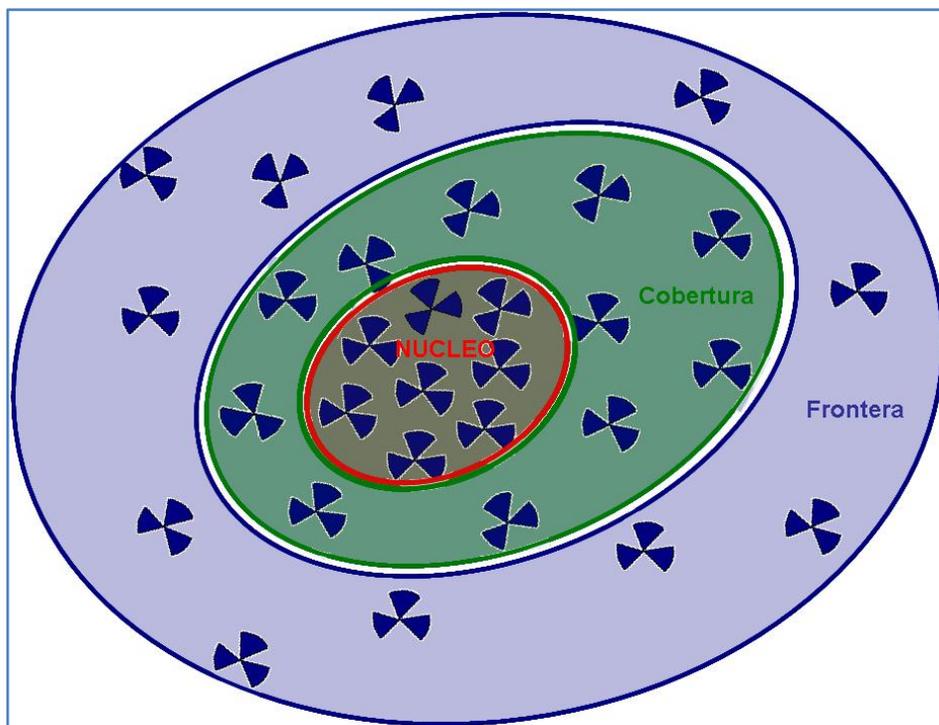
En esta segunda categoría se encasillan aquellas celdas que vistas como grupo poseen una distancia mayor hacia sus vecinas, por lo que sus coberturas son más extensas.

6.4.3. Celdas frontera

Estas son las celdas que constituyen el borde donde finaliza un tipo de red celular.

En la figura 21 se ilustran los tipos de celdas mencionados anteriormente:

Figura 21. Clasificación de celdas por relación de HO



Fuente: elaboración propia.

6.5. Valores de medición de condiciones de radio

A lo largo de esta sección se estudian, de manera superficial, los distintos valores de medición de calidad de radio, utilizados como normas para activar distintos eventos dentro de una red celular. Entre dichos eventos se puede mencionar el IRAT HO.

6.5.1. Valores de medición de intensidad de señal

6.5.1.1. Nivel de señal recibida

Se le denomina así a la medida de intensidad de la señal celular 2G, y es conocida más comúnmente como *RxLev*, por sus siglas en inglés. Es medida en *downlink*, y se mide en decibeles mili vatio (dBm). Un dBm es el resultado de la comparación logarítmica entre la potencia de una señal con la potencia de 1 miliwatt.

Valores considerados como suficientes para asegurar un excelente servicio de comunicación son del orden de -30 a -70 dBm; mientras que alcanzar valores como -100 dBm el servicio es considerado como malo, y es propenso a tener problemas para mantener la comunicación establecida.

6.5.1.2. Potencia de código de señalización recibida

Se le denomina así a la medida de intensidad de la señal celular 3G, y es conocida más comúnmente como *RSCP*, por sus siglas en inglés. Es medida en *downlink*, y se mide en decibeles milivatio (dBm).

El RSCP mide la intensidad de señal de un canal codificado específico, utilizándose más comúnmente el CPICH.

6.5.2. Valores de medición de calidad de señal

6.5.2.1. Calidad de señal recibida

Se le denomina así a la medida de calidad de la señal celular 2G, y es conocida más comúnmente como *RxQual*, por sus siglas en inglés.

La unidad de medida de dicho parámetro es de una naturaleza distinta a las utilizadas y explicadas en este documento hasta este punto. Para medir la calidad de una transmisión se obtiene una calificación estadística de la misma, y se le da un valor desde 0 a 7, donde 0 es la mejor calificación posible, y 7 la peor posible. A este método de calificación se le conoce por Opinión Media Medida (MOS por sus siglas en inglés). La dificultad radica en implementar algoritmos que apliquen el MOS de igual manera al resultante de una encuesta realizada a personas reales.

6.5.2.2. Relación de señal a piso de ruido

Se le denomina así a la expresión logarítmica que denota la diferencia que existe entre la intensidad de una señal de mensaje, y la del ruido intrínseco del medio utilizado para transmitir. Se abrevia E_c/N_0 donde E_c representa la Energía del Canal y N_0 el nivel de ruido.

Para los propósitos de este documento, dicha relación se utiliza para expresar la calidad medida de una señal transmitida en una red 3G, y es medida en dB. Expresa el ratio de diferenciación de la señal piloto al ruido del sistema. Se considera que valores desde -3 a -9 dB representan buenas condiciones de transmisión, mientras que valores del orden de -12 a -15 dB son considerados inapropiados para la misma.

Es necesario hacer notar que los valores negativos establecen que la transmisión de 3G se logra a niveles más bajos que el piso de ruido del medio, la potencia necesaria para la transmisión es considerablemente más baja que la utilizada en 2G.

6.6. Parámetros iniciales recomendados

En este apartado se sugieren una serie de valores recomendados para inicializar una red 3G, que funcionará en relación a una red 2G ya operacional.

6.6.1. Activación de IRAT HO

El primer valor a establecer es el que controla si un IRAT HO es válido entre dos redes; es decir, se debe tener en cuenta esta necesidad al momento de negociar con el proveedor de los servicios de red, ya que es probable que la capacidad de realizar un IRAT HO hacia GSM sea ofrecida como una función extra de la red, sin embargo, debe ser considerada como vital por parte del cliente, que es usualmente la compañía de telecomunicaciones.

En resumen, a la hora de establecer una negociación para el suministro del equipo necesario para implementar una red 3G sobre una red GSM previamente desarrollada, la opción de IRAT HO debe ser incluida dentro del paquete inicial.

6.6.2. Direccionamiento del IRAT HO

Cuando una red 3G es muy joven, es recomendable que los parámetros de activación de IRAT HO para CS estén sólo activos en una dirección, desde 3G hacia 2G, para una llamada activa. Es decir que es necesario declarar en la parametrización de la red instrucciones tales como, que cuando una llamada activa se encuentre saliendo de cobertura de 3G se active el proceso de CM, con el cual se mide la red GSM en busca de una portadora fuerte para trasladar el servicio.

Sin embargo, el proceso inverso, pasar de la red 2G hacia 3G, debe ser evitado; ya que debido a la poca optimización de las coberturas 3G, es muy probable que se presente el fenómeno conocido como de ping-pong, el cual consiste en un repetitivo ingreso al CM y por ende un cambio constante entre tecnologías. Dicho comportamiento tiende a aumentar la probabilidad de caídas de llamadas en los bordes de la cobertura 3G. El usuario común realmente no aprecia una diferencia en cuanto al uso de 2G o 3G en CS.

El proceso mediante el cual la UE regresa a registrarse a la red 3G una vez realizado un IRAT HO hacia 2G, tiene lugar al finalizar la llamada en modo libre (*idle* en inglés).

Para PS lo más recomendable es dejar habilitado el IRAT HO hacia ambos sentidos, no importando que se tenga el fenómeno de ping-pong, ya que la utilización de la red en datos tiende a ser más estática que para CS, es decir, los usuarios de los servicios de datos tienden a estar localizados en un punto sin movilidad alguna, además, la calidad del servicio se vería degradada si los usuarios no pueden obtener nuevamente altas tasas de velocidad de transmisión de datos, una vez que las condiciones de red se restablecen.

Para una llamada multiRAB (Varios servicios de CS y/o PS a la vez), la llamada en CS siempre tendrá prioridad.

6.6.3. Valores usuales medidos para la activación del CM

En la tabla V se presenta el resumen de los valores iniciales recomendados para activar CM e IRAT HO en una red 3G de reciente implementación. Los parámetros que deben controlar ambos fenómenos son exclusivamente de 3G, ya que la misma debe tener preferencia sobre 2G. Estos valores se aplican tanto para CS como para PS.

Tabla V. **Parámetros iniciales recomendados para controlar el IRAT HO 3G 2G**

Desactivar el CM			
Parámetro	Frontera	Cobertura	Núcleo
RSCP Máximo	-85 dBm	-95 dBm	-105 dBm
Ec/No Máximo	-8 dB	-9 dB	-10 dB
Tiempo de Activación	320 ms	320 ms	320 ms
Activar el CM			
Parámetro	Frontera	Cobertura	Núcleo
RSCP Mínimo	-90 dBm	-100 dBm	-110 dBm
Ec/No Mínimo	-10 dB	-11 dB	-12 dB
Tiempo de Activación	320 ms	320 ms	320 ms
Inicializar IRAT HO			
Parámetro	Frontera	Cobertura	Núcleo
RSCP Mínimo	-95 dBm	-105 dBm	-115 dBm
RxQual Mínimo (MOS)	3	4	5
Tiempo de Activación	100 ms	100 ms	100 ms

Fuente: FORKEL, Ingo, et al. *WCDMA Cell-Specific Optimized Parameterization of Compressed Mode Operation and Inter-System Handovers in UMTS/GSM Overlay Networks*. p. 5.

Los valores anteriores se aplican tanto para CS como para PS.

6.6.4. Porcentajes de cobertura por tipo de celda

Una razón muy importante por la que es recomendable clasificar las celdas de la red 3G en los grupos previamente mencionados, es que nos permite mejorar los niveles de cobertura en general, mediante la aplicación de reglas de coberturas específicas para cada tipo.

Para las celdas núcleo, es recomendable que el 90% de su cobertura total esté en un valor mayor o igual a -90dBm (RSCP). Esto es lo que los parámetros dados en la tabla V para las celdas núcleo buscan.

Cuando se analizan las celdas de cobertura, es aconsejable que el 75% de la cobertura total de cada celda sea de un valor mayor o igual a -90 dBm.

Las celdas frontera son las más difíciles de controlar, debido a que sus coberturas tienden a extenderse ante la ausencia de una vecina con quien realizar el HO. Al apegarse a los parámetros iniciales recomendados se busca mantener por lo menos el 50% de su cobertura total en valores superiores a -90 dBm.

6.7. Técnicas de IRAT HO para mejorar KPI

En el apartado anterior, se dan una serie de recomendaciones a seguir a la hora de implementar por primera vez una red 3G sobre una red 2G ya madura y de mucha mayor cobertura. Sin embargo, en el diario trabajo de optimización de la red, el ingeniero de radio frecuencia se topará con que hay ciertos lugares en los que los parámetros establecidos como iniciales no ayudan en la resolución de problemas detectados; o simplemente, que es necesario realizar un cambio sustancial en la relación de las redes para mejorar comportamientos negativos observados.

En los siguientes apartados se sugieren una serie de técnicas de control del IRAT HO, que pueden ser beneficiosas para resolver los problemas más comunes de una red celular.

6.7.1. Análisis Estadístico Preliminar

Previo a entrar en materia de análisis de técnicas de IRAT HO, es recomendable tener una clara idea de las condiciones físicas y de mercado del área en la que se ofrece el servicio de telefonía celular, esto debido a que del conocimiento exacto de las condiciones y necesidades del cliente, se utilizará la técnica de optimización más apropiada.

Para el presente trabajo de graduación se realizó una encuesta en la que participaron 50 personas de un rango de edades entre 8 a 70 años, pertenecientes a las clases media baja, media y media alta de la ciudad de Guatemala. Dicha encuesta es presentada en su totalidad en el anexo de este documento.

Lo que esta encuesta pudo establecer, mediante 10 preguntas de opción múltiple, es si el usuario está familiarizado con el tipo de tecnología a la que pertenece su aparato celular, además del tipo de servicios que son más utilizados en promedio.

Una vez obtenida la información, se procedió a analizarla mediante las técnicas estadísticas de tabulación de datos, así como inferencial; con el objetivo de establecer con rangos de certeza la información necesaria para establecer las técnicas de optimización más adecuadas, y así maximizar el proceso técnico y de inversión de las mismas.

En los apartados siguientes se utilizarán los resultados obtenidos en dicha encuesta para justificar el tipo de optimización a utilizar.

6.7.2. Técnicas para mejorar la retenibilidad

Se da inicio con el KPI de retenibilidad, que puede tomarse como la opción más lógica de KPI a mejorar. El problema específico a atacar es el de las llamadas caídas.

6.7.2.1. Adelanto del CM y del IRAT HO

Muchas veces se tienen casos en que por muchos motivos, tales como condiciones geográficas, climatológicas, interferencias internas y externas, así como ausencia de cobertura de red; se producen condiciones de desvanecimiento de RF en la red 3G.

Si una mejora substancial de la cobertura, con lo cual el problema de drop call se eliminaría, no es posible; o si aún con la capacidad de mejorar la intensidad de la señal 3G, la mala condición de servicio continúa debido a problemas de interferencias externas o de congestión; se puede utilizar la técnica de adelantar tanto el CM como el subsiguiente IRAT HO, mediante una modificación de los parámetros de la tabla V.

Se recomienda realizar pruebas de campo en primera instancia, para obtener un panorama técnico de las condiciones de radio del lugar, y ya con estas en mente, planear valores un poco más estrictos para lograr adelantar el IRAT HO, un cambio de 2 a 3 dBm es recomendable hasta ajustar finamente el mismo.

6.7.2.2. Atraso del CM y del IRAT HO

En muchos casos se presentan llamadas caídas en cierta área, debido a condiciones similares establecidas anteriormente. Sin embargo, al realizar adelanto de IRAT HO se observa que el problema no se corrige en su totalidad. Esto puede deberse a que las condiciones de red GSM en el punto exacto en el que se hace el intento de cambio de red, son mucho peores que las experimentadas por la red 3G.

Aunque suene poco lógico, muchas veces la situación se puede salvar atrasando dicho IRAT, es decir, modificando los parámetros para que la llamada sea retenida un poco más en la red 3G antes de hacer el cambio.

Tanto para el adelanto o el atraso de un IRAT HO, es aconsejable acompañar dichos cambios con un extensivo trabajo de campo y de medición de señal en tiempo real, además de un monitoreo de resultados estadísticos, para llegar a un punto óptimo en el que los problemas de red sean llevados a su mínima expresión.

6.7.2.3. Borrado intencional de celdas de vecindad

Muchas veces en presencia de condiciones insalvables de interferencia o áreas muy específicas por la geografía de las mismas, se puede engañar a la red 3G para que realice un IRAT HO hacia una celda específica de GSM, no importando que no sea precisamente la mejor servidora de 2G en ese punto.

Esto se puede lograr mediante un borrado voluntario del listado de vecinas de GSM a excepción de la celda escogida, que es a la que se le aplican los parámetros de IRAT.

Esto puede considerarse en un caso extremo, en el que debido a problemas de congestión en GSM no se realicen de manera exitosa los IRAT HO y se tenga un drop call debido a lo anterior. Sin embargo, debe ser tomado como una última opción, y además, como solución temporal, ya que la celda borrada en el listado de vecinas de la celda 3G, constituye una fuente de interferencia en la comunicación de los demás elementos de red.

6.7.2.4. Activación de propiedades específicas no indispensables

Una opción que es necesario mencionar, es la de la activación de propiedades de la red que no fueron consideradas como fundamentales, cuando la misma fue comprada por la compañía de telecomunicaciones.

A manera de ejemplo se puede mencionar la opción de red que permite a una video llamada cursada en 3G, convertirse en una llamada de voz al momento de dejar la cobertura de UMTS para pasar al dominio de GSM. Actualmente en la mayoría de operadores en el mundo, esta situación termina en una inminente llamada caída, debido a la carencia de dicha propiedad.

No obstante, es necesario hacer notar que según los datos obtenidos en investigación de encuesta presentados en el apéndice 2, se puede afirmar con un 90,00% de certeza, que entre el 38,49% y el 63,64% de la población conoce el servicio de la video llamada; el promedio de las veces que un teléfono se utiliza para realizarlas cae entre 0,00% y 5,50% de las veces, por lo que el impacto generado de esta propiedad activada en la red no sería mayor, y el análisis costo beneficio de dicho impacto, seguramente será en detrimento de la adquisición de dicha propiedad.

Lo anterior lleva a la conclusión que en estos momentos no es aconsejable la adquisición de dicha característica, sin embargo, debe ser tomada en mente como una opción a futuro, a medida que la video llamada se vaya popularizando.

6.7.3. Técnicas para mejorar la accesibilidad

En los apartados anteriores, se estudió como se pueden atacar problemas de retenibilidad de red, mediante el uso inteligente del IRAT HO y de la red GSM en apoyo de la red 3G. Es posible de igual forma, mejorar el KPI de la accesibilidad mediante adelantos y atrasos de IRAT HO, así como negación y obligación de los mismos; a lo largo de este apartado se mencionarán sugerencias y técnicas así como las causas que las justifican.

Al analizar datos obtenidos, podemos ver que el número de usuarios 3G ha crecido desde que la misma fue implementada en el país en el año 2008, esto debido a que la proporción de gente que tiene unidades 3G está entre 22,44% y 45,65%, esto se sabe con un 90,00 % de certeza; además, también se conoce con el mismo porcentaje de certeza, que la gente que aún no tiene 3G, pero tiene intención de adquirirlo, está entre el 54,38% y el 88,47%. Esto nos lleva a prever un incremento en usuarios de 3G, lo cual debe ser manejado de manera correcta para evitar problemas de un pobre dimensionamiento y la consiguiente congestión.

La carga de la red celular actual es voz y sms, ya que podemos ver que los rangos de uso de celular para voz son de entre 25,71% a 49,43%, mientras los de sms son entre 22.41% y 49.43%. Sin embargo, el uso de datos está creciendo, mostrando valores de intervalo de entre 7,13% y 25,15%.

6.7.3.1. Separación de Optimización para voz y para datos

Más que una técnica de optimización, es recomendable que como norma del ingeniero optimizador en la presencia de redes de voz y datos, siempre se trabajen de manera separada dichas propiedades de red.

Como primera recomendación en el punto podemos mencionar que es beneficioso tener esta separación, para poder aplicar conceptos como el de manejar una dirección de IRAT HO distinta para ambos casos. Para voz es recomendable mantener un IRAT HO en un solo sentido, de 3G a 2G solamente para evitar el ping pong, mientras que para datos es recomendable mantenerlo abierto en ambo sentidos para no atacar de manera negativa la percepción del usuario, lo que constituye uno de los puntos más importantes a tomar en cuenta, a la hora de optimizar cualquier aspecto de una red celular.

6.7.3.2. Parámetros de calidad de red más estrictos

Con los datos presentados en 6.7.2, se puede prever un crecimiento de datos en 3G, pero además se espera seguir con fuerte tráfico de voz y de sms. La red utilizada para el transporte de estos dos últimos es irrelevante para el usuario, que en la gran mayoría de los casos no percibe ninguna diferencia entre una llamada en GSM o en UMTS, lo mismo aplica a un mensaje de texto.

Una estrategia que utiliza claramente la optimización separada de servicios de voz y de datos, es la de procurar utilizar en sitios congestionados en 3G, parámetros sumamente estrictos de IRAT HO en voz, de manera que la misma sea cursada exclusivamente en la red 2G, dejando libre los recursos de 3G para su uso por los usuarios de servicios de datos.

El parámetro que puede endurecerse para este fin es el E_c/N_0 , ya que con el mismo, nos aseguramos de manejar en 3G solamente a usuarios con muy buena calidad de señal, mientras que un alto contingente pasará a la red 2G. Además, la gran mayoría de usuarios de voz posee una movilidad mucho más alta que la de los usuarios de datos, por lo que de cierta manera, la retenibilidad se ve afectada positivamente de manera indirecta. Otra ventaja es que es posible hacerlo por celda.

Una reducción de 2 a 3 dB en E_c/N_0 , nos ayuda a analizar si se da una mejora significativa en determinada celda, y se puede aumentar o disminuir en pasos de 1 o 2 dB dependiendo de los resultados observados.

6.7.3.3. Activación de propiedades específicas no indispensables

Existen otras maneras de lograr el objetivo del apartado anterior, una de ellas es la de la activación de propiedades especiales, en celdas que busquen compartir la carga hacia otras que se encuentren menos congestionadas; en este caso específicamente de voz, de 3G hacia 2G, por celda.

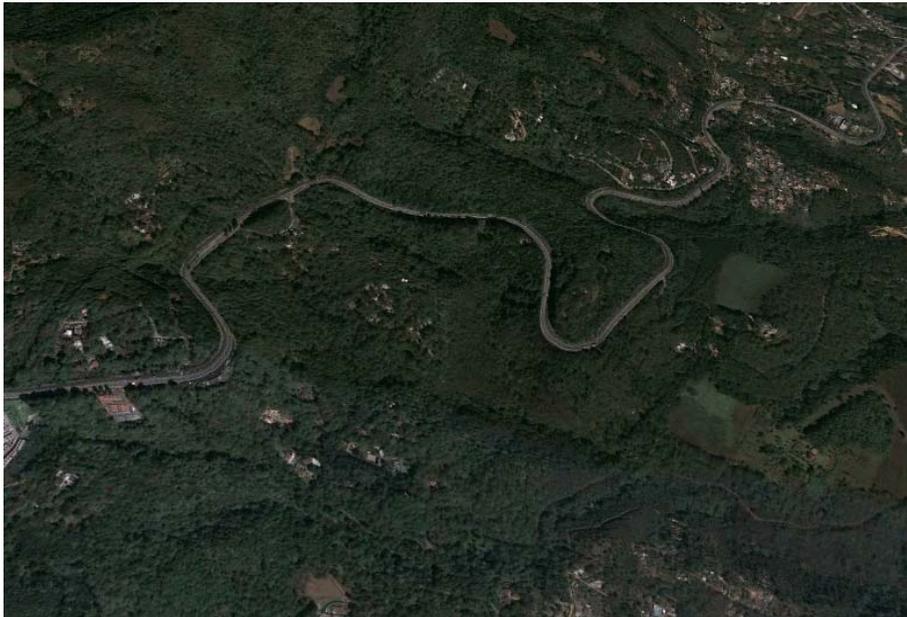
La ventaja de esta técnica, es que no depende de condiciones de red, más que del uso de la radiobase, por lo que estamos seguros que siempre se logrará el objetivo de la descarga hacia 2G, al llegar a un porcentaje de utilización de la misma.

Como desventaja está el hecho de que no es generalmente gratis, se debe pagar por una licencia especial al proveedor de equipo de red, generalmente por sitio, para poder activar estas propiedades. En unos sitios la ganancia económica justificará el uso de este, mientras que en otros será preferible usar otros parámetros de calidad de red para lograr el IRAT HO.

6.8. Estudio de un caso particular

Durante el continuo monitoreo, que como ingeniero de optimización de redes celulares se realiza en busca de problemas de red, se ha descubierto un problema, en el que la red 3G sufre debido a que celdas frontera con GSM no logran realizar de manera exitosa el IRAT HO, debido a la geografía del lugar, además del posicionamiento de celdas GSM como 3G. En la figura 22 se aprecia una toma aérea del punto en cuestión:

Figura 22. Ubicación geográfica del tramo con problemas de red



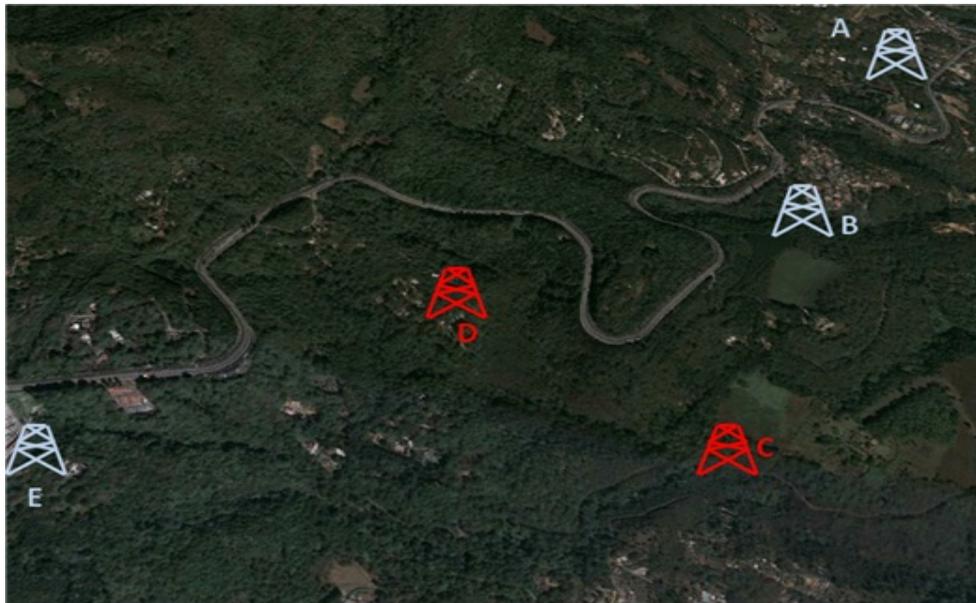
Fuente: elaboración propia.

6.8.1. Antecedentes

Se puede ver en la figura 22 que el territorio es sumamente montañoso. El problema en cuestión se da sobre la carretera saliendo de Mixco hacia San Lucas Sacatepéquez, hacia la izquierda en la citada figura.

Para cubrir ese tramo se presentan en el lugar radio bases tanto GSM como 3G, en la figura 23 se pueden apreciar los sitios que brindan cobertura en el área:

Figura 23. Ubicación de las radio bases que brindan cobertura



Fuente: elaboración propia.

Las radiobases que aparecen en la figura 23 de color celeste (A, B, E) son las que poseen en su instalación equipo y antenas tanto de las tecnologías 2G como 3G; mientras que las que aparecen de color rojo (C, D) solamente poseen 2G.

El tramo aparece completamente cubierto con una combinación de GSM y UMTS, debido a que los costos de operación de 3G la hacen rentable nada más en centros urbanos con población, y no aún en cobertura de carretera, es allí donde GSM cobra importancia en la extensión del servicio.

En los diversos trabajos de campo realizados en el sector, así como en el monitoreo estadístico, se ha podido apreciar recurrentemente el fenómeno de *drop call*, provocado por la caída acelerada de los niveles de señal, dadas las condiciones geográficas del tramo.

El sector mencionado, por las características de la disposición de red, es considerado como región de frontera de la red UMTS, y tanto las radiobases GSM como las UMTS tenían programados sus umbrales de IRAT HO, como se recomienda en la tabla V.

6.8.2. Medición y análisis del problema

Se realizaron mediciones previas para verificar el grado de servicio brindado en el tramo estudiado, tomándose muestras en ambas tecnologías para el nivel de potencia de la señal, así como para la calidad de la misma.

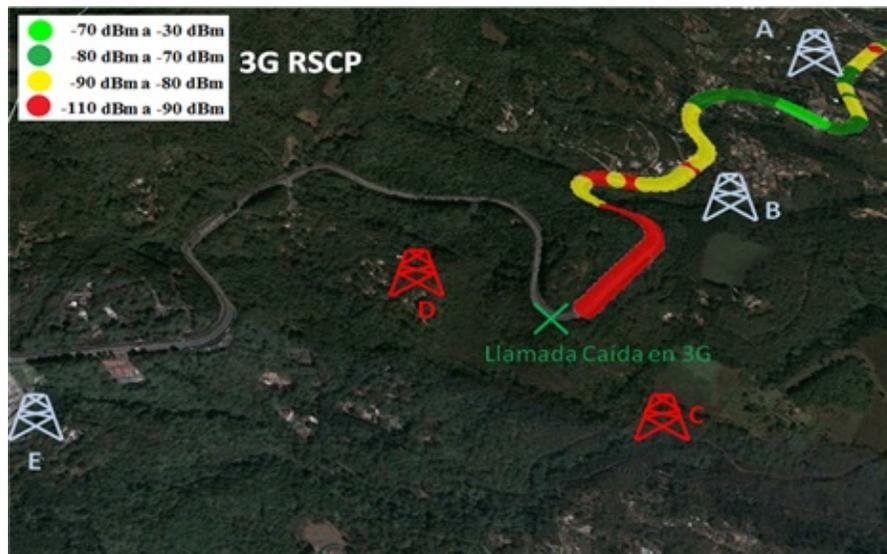
Con las muestras de GSM se obtuvieron el RxLev y RxQual, para analizar el nivel de señal y la calidad de la misma, respectivamente. Para UMTS se obtuvieron el RSCP y el Ec/No también para análisis de nivel de señal y calidad. En las figuras 24, 25 y 26 se mapean las mediciones sobre el terreno:

Figura 24. Cobertura en 3G



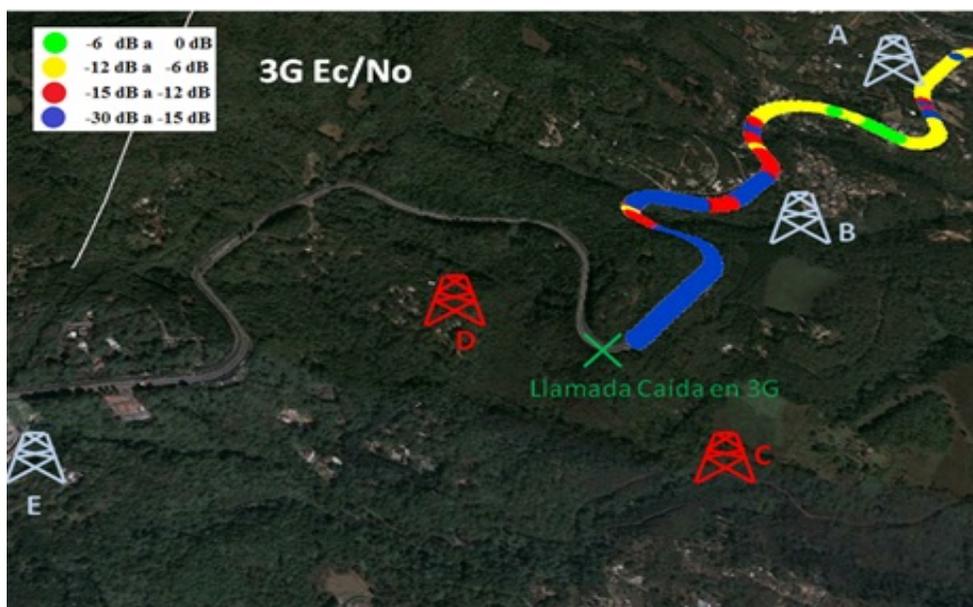
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Niveles de señal en 3G (RSCP)



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Calidad de señal en 3G (Ec/No)



Fuente: elaboración propia.

Del trabajo de medición, se puede establecer que efectivamente con los parámetros recomendados para un IRAT HO en condiciones de frontera, el mismo no se logra debido a la peculiar característica de una dramática caída de los niveles de señal en la curva de la carretera. El IRAT HO estaba planeado para realizarse entre las celdas B y D, como un intento de extender la cobertura 3G.

Al realizar un análisis más profundo, se encontró que los niveles de RSCP justo antes de la curva estaban en aproximadamente -90 dBm, mientras que en la curva bajaban dramáticamente a -100 o -105 dBm; dicho cambio tan abrupto de los niveles de señal, impedían que el CM se inicializara en el valor predeterminado, y los niveles tan bajos obtenidos, tanto de intensidad de señal como de calidad de la misma, provocaban la caída de la llamada desde la celda B en 3G.

6.8.3. Desarrollo e implementación de solución

Después del análisis realizado en el apartado anterior, se pudieron pensar en distintas maneras de solventar el problema, las cuales se presentan a continuación:

- Aumentar los parámetros de potencia de UMTS de la celda B para evitar la caída de la llamada.
- Implementar equipo UMTS en la celda C para ampliar la cobertura 3G.
- Modificar los valores de los parámetros de activación del IRAT HO entre las celdas B y C.

La primera de las opciones anteriores fue descartada al hacer un análisis de los parámetros de potencia de la celda, que se encuentran ya en el máximo recomendado. La potencia es un parámetro crítico en UMTS, y debido a que un mal manejo de la misma provocaría interferencia para sus vecinas, es imperativo nunca aumentar la potencia más allá del valor recomendado.

Al considerar la segunda de las soluciones propuestas, es necesario tomar en cuenta el factor inversión-retorno en la implementación de un sistema de telecomunicaciones. Actualmente a una empresa de telefonía celular le cuesta aproximadamente \$.55 000,00 la instalación de equipo UMTS, que al aproximar el tipo de cambio a quetzales a 8 por 1 se traduce en Q.440 000,00, y eso tomando en cuenta que ya se cuenta con la infraestructura de la torre para colocar el mismo; además, en el lugar en cuestión, el número de usuarios potenciales de la tecnología se limitaría a las personas que transitan por la carretera, lo cual es muy bajo en términos de retorno de inversión. Todo lo anterior hizo dicha opción inviable, al menos por el momento.

Con la tercera opción se tenía el predicamento de que se sacrificaba cobertura 3G, ya que se necesitaba volver menos estrictos los parámetros de IRAT HO hacia GSM. Sin embargo, al analizar el servicio más utilizado por los usuarios en carretera, extrayendo dicha información de los sitios 3G que las cubren, se obtiene que aproximadamente el 85% del servicio brindado es de voz, el cual es igual de efectivo en GSM que en 3G, según se demostró en apartados anteriores. Lo anterior llevó a la conclusión que la pérdida de cobertura en UMTS, se compensaba con la mejora de los KPI de los sitios afectados en el lugar.

Después de varios cambios de parámetros y de mediciones de comprobación, se llegó a la conclusión de que los valores óptimos eran los que se muestran en la tabla VI:

Tabla VI. **Parámetros especiales seleccionados para controlar el IRAT HO de 3G hacia 2G en el tramo carretero hacia San Lucas Sacatepéquez.**

Activar el CM	
Parámetro	Frontera
RSCP Mínimo	-85 dBm
Ec/No Mínimo	-8 dB
Tiempo de Activación	320 ms
Inicializar IRAT HO	
Parámetro	Frontera
RSCP Mínimo	-90 dBm
RxQual Mínimo (MOS)	3
Tiempo de Activación	100 ms

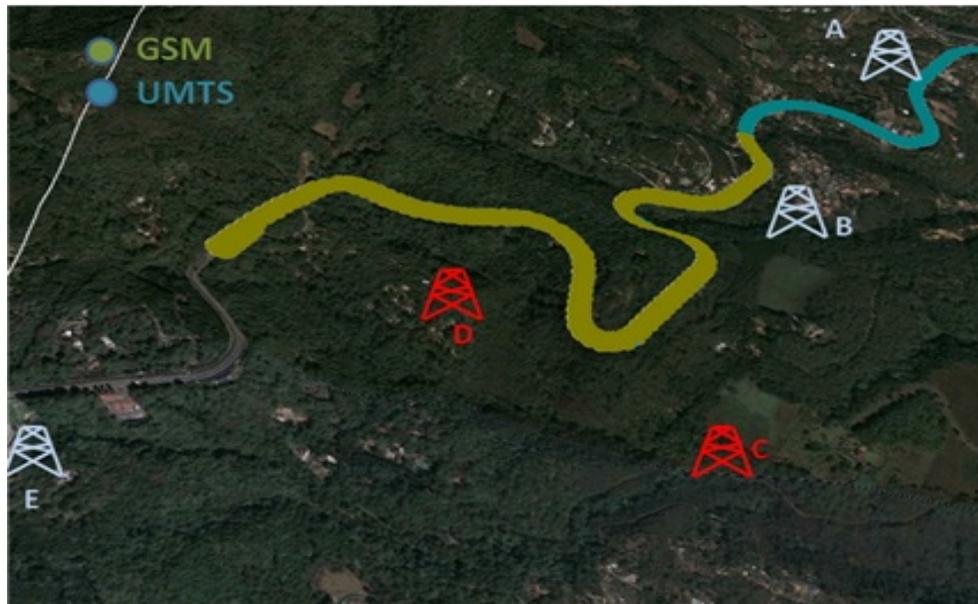
Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos se muestran en el apartado siguiente.

6.8.4. Resultados finales

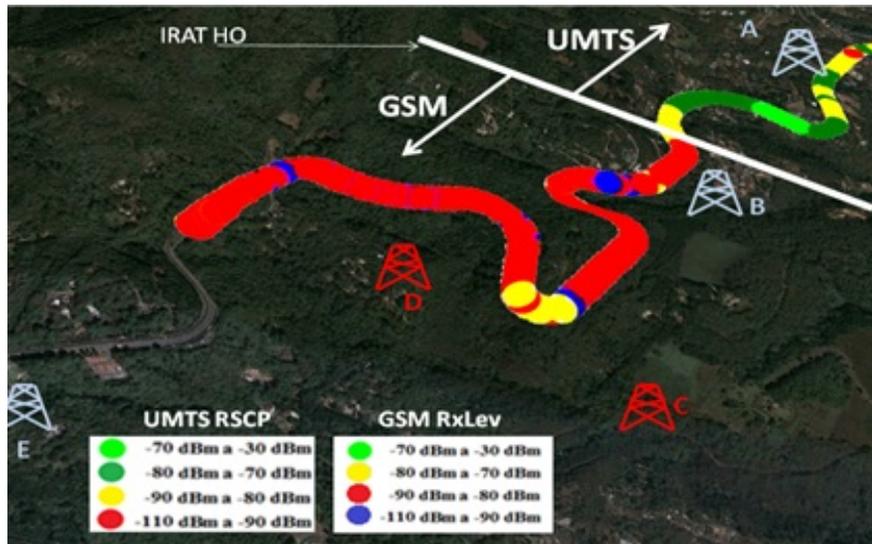
Posterior a los cambios realizados en los parámetros de IRAT HO entre las celdas B y C, se procedió a realizar una serie de mediciones, las cuales se muestran en las figuras 27, 28 y 29:

Figura 27. Cobertura combinada GSM - UMTS



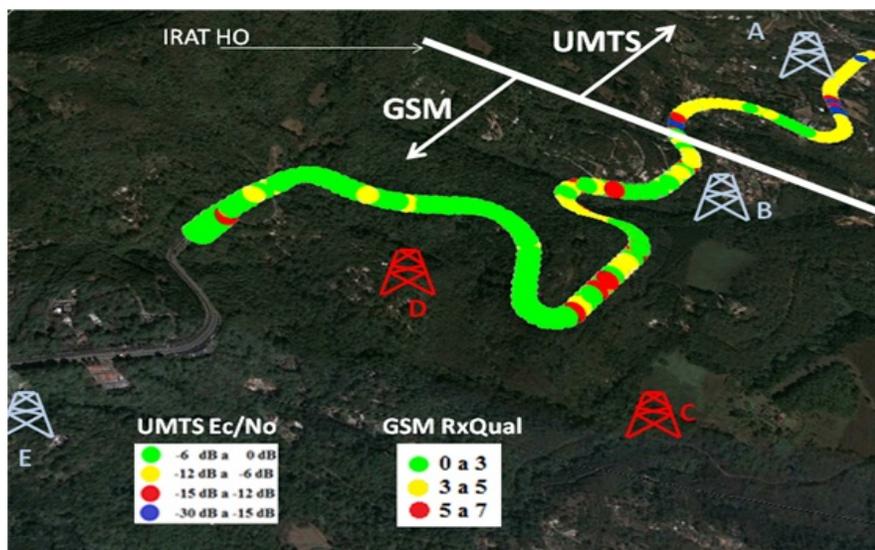
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Nivel de señal GSM - UMTS



Fuente: elaboración propia.

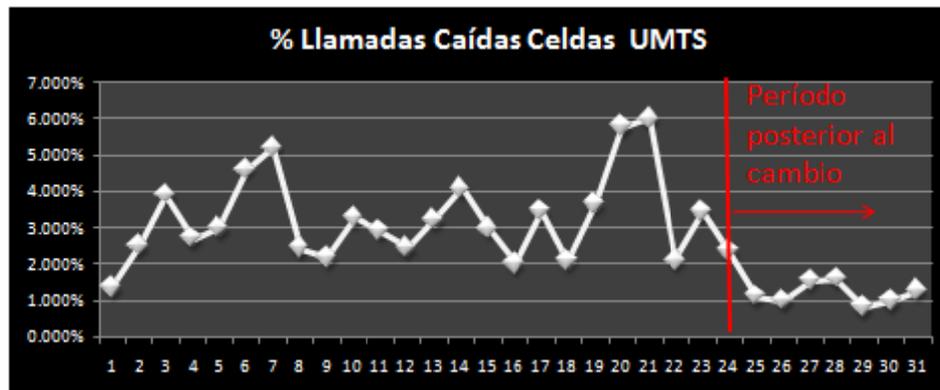
Figura 29. Nivel de señal GSM - UMTS



Fuente: elaboración propia.

Se observa que la cobertura de UMTS se recortó y se muestra también la cobertura de GSM cubriendo la curva en la que se presentaba el problema de llamada caída. Debido a la presencia en GSM de la celda C, dicha llamada caída es evitada, con lo cual el desempeño general de dicho recorrido es mejorado, como lo muestra la figura 30, la cual grafica los valores obtenidos para el porcentaje de llamadas caídas en el sector, para el monitoreo posterior del comportamiento de dicha área:

Figura 30. **Comportamiento combinado de las celdas intervenidas, antes y después del cambio**



Fuente: elaboración propia.

Se aprecia en la figura 30 el impacto positivo que se tuvo con la implementación de esta técnica de optimización utilizando la red GSM como medio auxiliar de UMTS en el servicio de telefonía celular al cliente guatemalteco.

CONCLUSIONES

1. El presente trabajo de graduación plantea un estudio que abarca los aspectos más importantes acerca de la creación, desarrollo, normas de operación y funcionamiento de las tecnologías celulares GSM y UMTS, utilizadas actualmente en Guatemala.
2. La accesibilidad, retenibilidad y movilidad constituyen los principales indicadores de la calidad de servicio ofrecido al consumidor final de una red celular. Los mismos son medidos porcentualmente y es tarea del ingeniero de optimización de red, alcanzar los niveles mínimos exigidos para asegurar una buena experiencia de comunicación del usuario.
3. Los principales problemas que afectan la calidad de servicio de una red de telecomunicaciones son: la congestión, la interferencia, las fallas de equipo, malas coberturas y una inadecuada planificación de red, estos problemas afectan a todos los indicadores de red por igual.
4. La capacidad de operación en conjunto que poseen las tecnologías celulares de Segunda y Tercera Generaciones, fue fundamentada mediante el estudio realizado de los principios básicos de operación de redes celulares, como la superposición de redes, así como la posibilidad de relevo entre distintas celdas de cobertura; además de los esfuerzos realizados mundialmente, para lograr la estandarización de procedimientos y protocolos de comunicación de redes.

5. Debido a su mayor tiempo de servicio y operación, la red GSM es, en el país, la red con mayor cobertura, independientemente de la compañía a la que pertenezca; y esta característica puede ser aprovechada para brindar soporte a la red UMTS de reciente lanzamiento.

6. Un adecuado entendimiento y manejo de las relaciones de vecindad de UMTS con respecto a GSM, el conocimiento de las características geográficas del área de cobertura, así como un adecuado manejo de los contadores y parámetros de potencia que inciden en los tiempos del relevo conocido como IRAT, son efectivos métodos para solucionar problemas de red de UMTS, mediante la utilización de GSM a manera de red auxiliar.

RECOMENDACIONES

1. Actualizar constantemente los conocimientos referentes a las características y posibilidades que una red de telecomunicaciones de reciente lanzamiento presenta, especialmente las recomendadas por la compañía desarrolladora, para poder, de esta manera, tener en mente las opciones de diseño e implementación de características específicas de red, a la hora de decidir métodos de optimización a utilizar.
2. Realizar un estudio financiero completo, que proporcione el costo económico total de la implementación de una técnica de optimización, para poder así utilizar la que represente un mayor beneficio integral a la empresa.
3. Validar todas las acciones de optimización empleadas en la solución de un problema específico de red, con pruebas de campo, tanto antes como después de implementada la solución.
4. Seguir las indicaciones dadas por la compañía desarrolladora de la tecnología de comunicación utilizada, en lo referente a valores de parámetros de control, y solamente realizar cambios a dichos parámetros, después de un completo estudio del funcionamiento de los mismos.
5. Desarrollar reportes estadísticos diarios del comportamiento de la red, en los cuales se incluyan los indicadores de desempeño más importantes, así como indicadores del comportamiento de las celdas frontera, propensas a realizar IRAT.

6. Realizar cambios en la red siguiendo la regla de “uno a la vez”, para así poder aislar y analizar completamente los efectos que el mismo provocará.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRICEÑO, José E. M., *Principios de las comunicaciones*. 3a ed. Ciudad: Bogotá, Colombia. Facultad de Ingeniería, Publicaciones, Universidad de Los Andes, 2005. Digital. 595 p.
2. ERHART, Wesley, et al. *Advanced packet data testing with linux, linux journal* [en línea]. Disponible en Web: <http://www.linuxjournal.com/article/3724>. [Consulta: 15 de septiembre de 2010].
3. FORKEL, Schmocker, et al. *WCDMA Cell-Specific Optimized Parameterization of Compressed Mode Operation and Inter-System Handovers in UMTS/GSM Overlay Networks*. 3a ed. Inglaterra: John Wiley & Sons, 2004. Digital. 300 p.
4. HALONEN, Timo; ROMERO, Javier; MELERO, Juan. *GSM, GPRS and EDGE performance, evolution towards 3G/UMTS*. 2a ed. Inglaterra: John Wiley & Sons, 2003. Digital. 656 p.
5. HOLMA, Harri; TOSKALA, Antti. *WCDMA for UMTS, radio access for third generation mobile communications*. 3a ed. Inglaterra: John Wiley & Sons, 2004. Digital. 481 p.
6. *Introduction to GSM*. [en línea]. Disponible en Web: <http://www.gsmfordummies.com/intro/intro.shtml> [Consulta: 6 de octubre de 2009].

7. KOLDING, Troels, et al. *Evolution of HSDPA, high speed downlink packet access: WCDMA evolution*. Finlandia: Nokia Networks, 2003. Digital. 7 p.
8. KREHER, Ralf. *UMTS performance measurement*. Inglaterra: John Wiley & Sons, 2006. Digital. 228 p.
9. *OVSF code generator*. [en línea]. Disponible en *Web*. [Consulta: 18 de marzo de 2010].
10. PÉRTEGA, Santiago.; PITA, Samuel. *Métodos paramétricos para la comparación de dos medias. t de Student*. España: Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Universitario de La Coruña, 2001. Digital. 100 p.
11. Portal del Departamento de Matemática. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad De Buenos Aires. *Tabla t de Student*. [en línea]. Disponible en *Web*. [Consulta: 16 de junio de 2010].
12. THUEL, José. *Medición de la calidad del servicio en redes móviles*. Costa Rica: Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 2007. Digital. 77 p.

APÉNDICES

1. Tabla de clasificación y significado de eventos de capa 3 de WCDMA.

Listado de eventos de capa 3 de UMTS

Evento	Tipo de Evento	Significado
1^a	Reporte de evento intra-frecuencial	Una celda del MS es agregada al AS.
1B	Reporte de evento intra-frecuencial	Una celda del AS es removida.
1C	Reporte de evento intra-frecuencial	Una celda del AS es remplazada por una celda del MS.
1D	Reporte de evento intra-frecuencial	Cambio de la mejor servidora del AS.
1E	Reporte de evento intra-frecuencial	EcNo o RSCP de una celda cae por debajo de un determinado umbral.
1F	Reporte de evento intra-frecuencial	EcNo o RSCP de una celda supera determinado umbral.
1G	Reporte de evento intra-frecuencial	Cambio de la mejor servidora (TDD).
1H	Reporte de evento intra-frecuencial	El ISCP de un TS en TDD cae por debajo de un determinado umbral.
1I	Reporte de evento intra-frecuencial	La Potencia de Código de Señal de Interferencia (ISCP) de un TS en TDD supera determinado umbral.
2^a	Reporte de evento inter-frecuencial	Cambio de la mejor frecuencia; el EcNo del CPICH de otra portadora es mejor que el del CPICH de la portadora actual.
2B	Reporte de evento inter-frecuencial	El EcNo del CPICH de otra portadora supera un determinado umbral, mientras que el EcNo del CPICH de la portadora actual cae por debajo de determinado umbral.
2C	Reporte de evento inter-frecuencial	El EcNo del CPICH de otra portadora supera un determinado umbral.
2D	Reporte de evento inter-frecuencial	El EcNo del CPICH de la portadora actual cae por debajo de un determinado umbral.
2E	Reporte de evento inter-frecuencial	El EcNo del CPICH de otra portadora cae por debajo de un determinado umbral.

Evento	Tipo de Evento	Significado
2F	Reporte de evento inter-frecuencial	El EcNo del CPICH de la portadora actual supera un determinado umbral.
3A	Reporte de evento IRAT	El EcNo del CPICH de la portadora actual cae por debajo de un determinado umbral, mientras que el RxLev de una portadora GSM supera un determinado umbral. (CM)
3B	Reporte de evento IRAT	El RxLev de determinada portadora GSM cae por debajo de determinado umbral. (CM)
3C	Reporte de evento IRAT	El RxLev de determinada portadora GSM se supera un determinado umbral. (CM)
3D	Reporte de evento IRAT	Cambio de celda dominante en la red GSM; una celda GSM que no estaba marcada como una portadora dominante cambia a ser la portadora dominante.
4A	Reporte de evento de volumen de tráfico	El volumen de tráfico de un canal de transporte supera un determinado umbral.
4B	Reporte de evento de volumen de tráfico	El volumen de tráfico de un canal de transporte cae por debajo de un determinado umbral.
5A	Reporte de evento de calidad	Un previamente determinado valor de Contador de Redundancia Cíclica es alcanzado.
6A	Reporte de evento de medición interna de UE	La Potencia de transmisión de UE (UE Tx-power) supera un determinado umbral.
6B	Reporte de evento de medición interna de UE	La potencia de transmisión de UE (UE Tx-power) cae por debajo de un determinado umbral.
6C	Reporte de evento de medición interna de UE	La potencia de transmisión de UE (UE Tx-power) alcanza el valor determinado como mínimo permitido.
6D	Reporte de evento de medición interna de UE	La potencia de transmisión de UE (UE Tx-power) alcanza el valor determinado como máximo permitido.
6E	Reporte de evento de medición interna de UE	El Indicador de Fuerza de Señal de Recepción (RSSI) del UE alcanza el nivel de rango de recepción dinámico.
6F	Reporte de evento de medición interna de UE	El tiempo entre Transmisión (Tx) y Recepción (Rx) de un enlace de Radio (AS) supera un determinado umbral.
6G	Reporte de evento de medición interna de UE	El tiempo entre Transmisión (Tx) y Recepción (Rx) de un enlace de Radio (AS) cae bajo un determinado umbral.
7A	Reporte de evento referente a posicionamiento de UE	La posición del UE cambia por una distancia mayor a la de un determinado valor.

Evento	Tipo de Evento	Significado
7B	Reporte de evento referente a posicionamiento de UE	Los valores medidos entre Redes de Frecuencia Única (SFN) sobrepasan un determinado umbral.
7C	Reporte de evento referente a posicionamiento de UE	Las diferencias en tiempo de las mediciones entre Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y SFN sobrepasan un determinado valor.

Fuente: elaboración propia.

2. Encuesta de apoyo, así como su respectiva tabulación e interpretación.

Encuesta de investigación de tipos de servicios celulares más usados por el usuario guatemalteco

ENCUESTA	
1)	CUENTA CON AL MENOS UN TELEFONO CELULAR? a. SI b. NO
SI SU RESPUESTA ES (NO), POR FAVOR NO LLENAR EL RESTO DE LA ENCUESTA	
2)	SU TELEFONO CELULAR ES 3G? a. SI c. NO SABE b. NO
SI SU RESPUESTA ES (SI) O (NO SABE), PASE A LA PREGUNTA 4	
3)	LE GUSTARIA ADQUIRIR UN TELEFONO CELULAR 3G? a. SI c. NO SABE b. NO
4)	MARQUE LOS SERVICIOS QUE USTED CONOCE SE PUEDEN REALIZAR CON UN TELEFONO CELULAR: a. LLAMADAS DE VOZ d. VIDEO LLAMADAS b. MENSAJES DE TEXTO e. ACCESO A INTERNET c. MENSAJES MULTIMEDIA (ENVIAR FOTOS, MUSICA, ETC) f. TELEVISION
5)	CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 0 A 10, DONDE 0 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUE FRECUENCIA UTILIZA EL TELEFONO CELULAR PARA REALIZAR LLAMADAS DE VOZ: NUNCA SIEMPRE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
6)	CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 0 A 10, DONDE 0 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUE FRECUENCIA UTILIZA EL TELEFONO CELULAR PARA ENVIAR MENSAJES DE TEXTO: NUNCA SIEMPRE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
7)	CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 0 A 10, DONDE 0 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUE FRECUENCIA UTILIZA EL TELEFONO CELULAR PARA ENVIAR MENSAJES MULTIMEDIA (ENVIAR FOTOS, MUSICA, ETC): NUNCA SIEMPRE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
8)	CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 0 A 10, DONDE 0 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUE FRECUENCIA UTILIZA EL TELEFONO CELULAR PARA REALIZAR VIDEO LLAMADAS: NUNCA SIEMPRE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
9)	CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 0 A 10, DONDE 0 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUE FRECUENCIA UTILIZA EL TELEFONO CELULAR O UN MODEM OFRECIDO POR UNA COMPAÑIA DE TELEFONIA CELULAR PARA ACCESAR A INTERNET: NUNCA SIEMPRE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
10)	CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 0 A 10, DONDE 0 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUE FRECUENCIA UTILIZA EL TELEFONO CELULAR PARA VER TELEVISION: NUNCA SIEMPRE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Fuente: elaboración propia

2.1 Tabulación de resultados

Primera pregunta de la encuesta

1 ¿CUENTA CON AL MENOS UN TELÉFONO CELULAR?			
	SI	NO	TOTAL
TABULADO	47	3	50
PROPORCIÓN	0,9400	0,0600	1,0000
PORCENTAJE	94,00%	6,00%	100,00%

Fuente: elaboración propia

Segunda pregunta de la encuesta

2 ¿SU TELÉFONO CELULAR ES 3G?				
	SI	NO	NO SABE	TOTAL
TABULADO	16	21	10	47
PROPORCIÓN	0,3404	0,4468	0,2128	1,0000
PORCENTAJE	34,04%	44,68%	21,28%	100,00%

Fuente: elaboración propia

Tercera pregunta de la encuesta

¿LE GUSTARÍA ADQUIRIR UN TELÉFONO CELULAR 3G?				
3	SI	NO	NO SABE	TOTAL
TABULADO	15	5	1	21
PROPORCIÓN	0,7143	0,2381	0,0476	1,0000
PORCENTAJE	71,43%	23,81%	4,76%	100,00%

Fuente: elaboración propia

Cuarta pregunta de la encuesta

MARQUE LOS SERVICIOS QUE CONOCE SE PUEDEN REALIZAR CON UN TELÉFONO CELULAR						
4	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
TABULADO	47	45	38	24	38	25
PROPORCIÓN	1,0000	0,9574	0,8085	0,5106	0,8085	0,5319
PORCENTAJE	100,00%	95,74%	80,85%	51,06%	80,85%	53,19%

Fuente: elaboración propia

Preguntas 5 a 10 de la encuesta, valores enteros

CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 1 A 10, DONDE 1 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUÉ FRECUENCIA UTILIZA EL TELÉFONO CELULAR PARA (TABULADO):						
ENCUESTA #	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
1	10	10	0	0	0	0
2	2	4	1	1	3	1
3	10	0	0	0	10	0
4	10	9	1	0	8	0
5	10	10	5	0	10	0
6	7	0	0	0	0	0
7	10	3	0	0	4	0
8	10	8	2	0	5	0
9	10	8	2	2	9	4
10	5	10	1	0	5	0
11	7	8	0	0	8	0
12	9	9	4	0	4	0
13	9	7	0	0	0	0
14	10	10	3	0	5	3
15	7	8	0	0	8	0
16	7	8	4	0	0	0
17	5	7	0	0	4	0
18	4	10	0	0	0	0
19	4	5	5	5	3	9
20	6	8	2	5	2	0
21	5	10	7	3	0	0

ENCUESTA #	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
22	2	4	5	0	5	0
24	5	7	0	0	0	0
25	9	7	0	0	9	0
26	9	4	1	0	2	0
27	3	10	3	1	0	3
28	3	9	0	0	0	0
29	10	10	0	0	0	0
31	10	9	0	0	0	0
32	2	5	0	0	10	0
34	10	0	0	0	0	0
35	1	1	0	0	0	0
36	5	10	0	0	0	0
37	10	9	2	1	0	0
38	10	8	2	1	9	8
39	6	8	0	0	1	3
40	7	5	7	0	8	8
41	6	10	2	0	8	0
42	10	8	6	0	10	5
43	10	8	0	0	5	0
44	9	9	2	0	2	0
45	10	8	3	0	2	0
46	10	3	0	0	1	0
47	10	2	3	2	9	2
48	10	10	3	2	5	1

ENCUESTA #	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
49	6	3	0	0	4	3
50	10	10	3	2	7	0

Fuente: elaboración propia

NOTA: LAS ENCUESTAS NÚMERO 23, 30 Y 33 NO APARECEN EN TABLAS DEBIDO A QUE EN LAS MISMAS SE NEGÓ EL POSEER UN TELÉFONO CELULAR

Preguntas 5 a 10 de la encuesta, proporciones

CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 1 A 10, DONDE 1 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUÉ FRECUENCIA UTILIZA EL TELÉFONO CELULAR PARA (PROPORCIÓN):						
ENCUESTA #	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
1	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,1667	0,3333	0,0833	0,0833	0,2500	0,0833
3	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,0000
4	0,3571	0,3214	0,0357	0,0000	0,2857	0,0000
5	0,2857	0,2857	0,1429	0,0000	0,2857	0,0000
6	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,5882	0,1765	0,0000	0,0000	0,2353	0,0000
8	0,4000	0,3200	0,0800	0,0000	0,2000	0,0000
9	0,2857	0,2286	0,0571	0,0571	0,2571	0,1143
10	0,2381	0,4762	0,0476	0,0000	0,2381	0,0000
11	0,3043	0,3478	0,0000	0,0000	0,3478	0,0000

ENCUESTA #	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
12	0,3462	0,3462	0,1538	0,0000	0,1538	0,0000
13	0,5625	0,4375	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,3226	0,3226	0,0968	0,0000	0,1613	0,0968
15	0,3043	0,3478	0,0000	0,0000	0,3478	0,0000
16	0,3684	0,4211	0,2105	0,0000	0,0000	0,0000
17	0,3125	0,4375	0,0000	0,0000	0,2500	0,0000
18	0,2857	0,7143	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19	0,1290	0,1613	0,1613	0,1613	0,0968	0,2903
20	0,2609	0,3478	0,0870	0,2174	0,0870	0,0000
21	0,2000	0,4000	0,2800	0,1200	0,0000	0,0000
22	0,1250	0,2500	0,3125	0,0000	0,3125	0,0000
24	0,4167	0,5833	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
25	0,3600	0,2800	0,0000	0,0000	0,3600	0,0000
26	0,5625	0,2500	0,0625	0,0000	0,1250	0,0000
27	0,1500	0,5000	0,1500	0,0500	0,0000	0,1500
28	0,2500	0,7500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
29	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
31	0,5263	0,4737	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
32	0,1176	0,2941	0,0000	0,0000	0,5882	0,0000
34	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
35	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
36	0,3333	0,6667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
37	0,4545	0,4091	0,0909	0,0455	0,0000	0,0000
38	0,2632	0,2105	0,0526	0,0263	0,2368	0,2105
39	0,3333	0,4444	0,0000	0,0000	0,0556	0,1667
40	0,2000	0,1429	0,2000	0,0000	0,2286	0,2286

41	0,2308	0,3846	0,0769	0,0000	0,3077	0,0000
42	0,2564	0,2051	0,1538	0,0000	0,2564	0,1282
43	0,4348	0,3478	0,0000	0,0000	0,2174	0,0000
44	0,4091	0,4091	0,0909	0,0000	0,0909	0,0000
45	0,4348	0,3478	0,1304	0,0000	0,0870	0,0000
46	0,7143	0,2143	0,0000	0,0000	0,0714	0,0000
47	0,3571	0,0714	0,1071	0,0714	0,3214	0,0714
48	0,3226	0,3226	0,0968	0,0645	0,1613	0,0323
49	0,3750	0,1875	0,0000	0,0000	0,2500	0,1875
50	0,3125	0,3125	0,0938	0,0625	0,2188	0,0000
PROMEDIO	0,3757	0,3401	0,0650	0,0204	0,1614	1,7599

Fuente: elaboración propia

NOTA: LAS ENCUESTAS NÚMERO 23, 30 Y 33 NO APARECEN EN TABLAS DEBIDO A QUE EN LAS MISMAS SE NEGÓ EL POSEER UN TELÉFONO CELULAR

Preguntas 5 a 10 de la encuesta, porcentajes

CALIFIQUE EN LA ESCALA DE 1 A 10, DONDE 1 ES NUNCA Y 10 ES SIEMPRE, CON QUÉ FRECUENCIA UTILIZA EL TELÉFONO CELULAR PARA (PORCENTAJE):						
ENCUESTA #	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
1	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	16,67%	33,33%	8,33%	8,33%	25,00%	8,33%
3	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%	0,00%
4	35,71%	32,14%	3,57%	0,00%	28,57%	0,00%

ENCUESTA #	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
5	28,57%	28,57%	14,29%	0,00%	28,57%	0,00%
6	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7	58,82%	17,65%	0,00%	0,00%	23,53%	0,00%
8	40,00%	32,00%	8,00%	0,00%	20,00%	0,00%
9	28,57%	22,86%	5,71%	5,71%	25,71%	11,43%
10	23,81%	47,62%	4,76%	0,00%	23,81%	0,00%
11	30,43%	34,78%	0,00%	0,00%	34,78%	0,00%
12	34,62%	34,62%	15,38%	0,00%	15,38%	0,00%
13	56,25%	43,75%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
14	32,26%	32,26%	9,68%	0,00%	16,13%	9,68%
15	30,43%	34,78%	0,00%	0,00%	34,78%	0,00%
16	36,84%	42,11%	21,05%	0,00%	0,00%	0,00%
17	31,25%	43,75%	0,00%	0,00%	25,00%	0,00%
18	28,57%	71,43%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
19	12,90%	16,13%	16,13%	16,13%	9,68%	29,03%
20	26,09%	34,78%	8,70%	21,74%	8,70%	0,00%
21	20,00%	40,00%	28,00%	12,00%	0,00%	0,00%
22	12,50%	25,00%	31,25%	0,00%	31,25%	0,00%
24	41,67%	58,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
25	36,00%	28,00%	0,00%	0,00%	36,00%	0,00%
26	56,25%	25,00%	6,25%	0,00%	12,50%	0,00%
27	15,00%	50,00%	15,00%	5,00%	0,00%	15,00%
28	25,00%	75,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
29	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
31	52,63%	47,37%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

ENCUESTA #	LLAMADAS DE VOZ	MENSAJES DE TEXTO	MENSAJES MULTIMEDIA	VIDEO LLAMADAS	ACCESO A INTERNET	TELEVISIÓN
32	11,76%	29,41%	0,00%	0,00%	58,82%	0,00%
34	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
35	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
36	33,33%	66,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
37	45,45%	40,91%	9,09%	4,55%	0,00%	0,00%
38	26,32%	21,05%	5,26%	2,63%	23,68%	21,05%
39	33,33%	44,44%	0,00%	0,00%	5,56%	16,67%
40	20,00%	14,29%	20,00%	0,00%	22,86%	22,86%
41	23,08%	38,46%	7,69%	0,00%	30,77%	0,00%
42	25,64%	20,51%	15,38%	0,00%	25,64%	12,82%
43	43,48%	34,78%	0,00%	0,00%	21,74%	0,00%
44	40,91%	40,91%	9,09%	0,00%	9,09%	0,00%
45	43,48%	34,78%	13,04%	0,00%	8,70%	0,00%
46	71,43%	21,43%	0,00%	0,00%	7,14%	0,00%
47	35,71%	7,14%	10,71%	7,14%	32,14%	7,14%
48	32,26%	32,26%	9,68%	6,45%	16,13%	3,23%
49	37,50%	18,75%	0,00%	0,00%	25,00%	18,75%
50	31,25%	31,25%	9,38%	6,25%	21,88%	0,00%
PROMEDIO	37,57%	34,01%	6,50%	2,04%	16,14%	3,74%

Fuente: elaboración propia

NOTA: LAS ENCUESTAS NÚMERO 23, 30 Y 33 NO APARECEN EN TABLAS DEBIDO A QUE EN LAS MISMAS SE NEGÓ EL POSEER UN TELÉFONO CELULAR

3. Análisis estadístico mediante T de Student

Debido a que en el análisis estadístico que se realiza en este anexo se tiene una muestra menor a 100, además, la desviación estándar de la población de donde se sacó dicha muestra es desconocida; lo más recomendable según la teoría de análisis estadístico, es emplear la técnica conocida como T de Student en el desarrollo del mismo.

La siguiente ecuación muestra la fórmula utilizada bajo dicho sistema:

$$\hat{p} - T(t_0, \omega) \left(\frac{\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})}}{n} \right) \leq p \leq \hat{p} + T(t_0, \omega) \left(\frac{\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})}}{n} \right)$$

Donde \hat{p} es nuestro valor promedio medido en la muestra; $T(t_0, \omega)$ hace referencia a un valor tabulado de certeza a utilizar para el cálculo de un intervalo en donde se localiza el valor exacto. El valor n es el número total de elementos de nuestra muestra; finalmente, p será el valor promedio exacto dentro del intervalo obtenido.

La tabla a la que se hace referencia en la ecuación es la que se muestra a continuación:

T de Student

Grados de Libertad	Grado de Certeza (t_0)					
	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
1	1,0000	3,0777	6,3137	12,7062	31,8210	63,6559
2	0,8165	1,8856	2,9200	4,3027	6,9645	9,9250
3	0,7649	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8408
4	0,7407	1,5332	2,1318	2,7765	3,7469	4,6041
5	0,7267	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,7176	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,7111	1,4149	1,8946	2,3646	2,9979	3,4995
8	0,7064	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,7027	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,6998	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,6974	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
14	0,6924	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,6912	1,3406	1,7531	2,1315	2,6025	2,9467
16	0,6901	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,6892	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,6884	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,6876	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,6870	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,6864	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,6858	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,6853	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,6848	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7970
25	0,6844	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874

Grados de Libertad	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
26	0,6840	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,6837	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,6834	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,6830	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,6828	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
31	0,6825	1,3095	1,6955	2,0395	2,4528	2,7440
32	0,6822	1,3086	1,6939	2,0369	2,4487	2,7385
33	0,6820	1,3077	1,6924	2,0345	2,4448	2,7333
34	0,6818	1,3070	1,6909	2,0322	2,4411	2,7284
35	0,6816	1,3062	1,6896	2,0301	2,4377	2,7238
36	0,6814	1,3055	1,6883	2,0281	2,4345	2,7195
37	0,6812	1,3049	1,6871	2,0262	2,4314	2,7154
38	0,6810	1,3042	1,6860	2,0244	2,4286	2,7116
39	0,6808	1,3036	1,6849	2,0227	2,4258	2,7079
40	0,6807	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
41	0,6805	1,3025	1,6829	2,0195	2,4208	2,7012
42	0,6804	1,3020	1,6820	2,0181	2,4185	2,6981
43	0,6802	1,3016	1,6811	2,0167	2,4163	2,6951
44	0,6801	1,3011	1,6802	2,0154	2,4141	2,6923
45	0,6800	1,3007	1,6794	2,0141	2,4121	2,6896
46	0,6799	1,3002	1,6787	2,0129	2,4102	2,6870
47	0,6797	1,2998	1,6779	2,0117	2,4083	2,6846
48	0,6796	1,2994	1,6772	2,0106	2,4066	2,6822
49	0,6795	1,2991	1,6766	2,0096	2,4049	2,6800
50	0,6794	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778

Grados de Libertad (ω)	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
51	0,6793	1,2984	1,6753	2,0076	2,4017	2,6757
52	0,6792	1,2980	1,6747	2,0066	2,4002	2,6737
53	0,6791	1,2977	1,6741	2,0057	2,3988	2,6718
54	0,6791	1,2974	1,6736	2,0049	2,3974	2,6700
55	0,6790	1,2971	1,6730	2,0040	2,3961	2,6682
56	0,6789	1,2969	1,6725	2,0032	2,3948	2,6665
57	0,6788	1,2966	1,6720	2,0025	2,3936	2,6649
58	0,6787	1,2963	1,6716	2,0017	2,3924	2,6633
59	0,6787	1,2961	1,6711	2,0010	2,3912	2,6618
60	0,6786	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
61	0,6785	1,2956	1,6702	1,9996	2,3890	2,6589
62	0,6785	1,2954	1,6698	1,9990	2,3880	2,6575
63	0,6784	1,2951	1,6694	1,9983	2,3870	2,6561
64	0,6783	1,2949	1,6690	1,9977	2,3860	2,6549
65	0,6783	1,2947	1,6686	1,9971	2,3851	2,6536
66	0,6782	1,2945	1,6683	1,9966	2,3842	2,6524
67	0,6782	1,2943	1,6679	1,9960	2,3833	2,6512
68	0,6781	1,2941	1,6676	1,9955	2,3824	2,6501
69	0,6781	1,2939	1,6672	1,9949	2,3816	2,6490
70	0,6780	1,2938	1,6669	1,9944	2,3808	2,6479
71	0,6780	1,2936	1,6666	1,9939	2,3800	2,6469
72	0,6779	1,2934	1,6663	1,9935	2,3793	2,6458
73	0,6779	1,2933	1,6660	1,9930	2,3785	2,6449
74	0,6778	1,2931	1,6657	1,9925	2,3778	2,6439
75	0,6778	1,2929	1,6654	1,9921	2,3771	2,6430

Grados de Libertad (ω)	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
76	0,6777	1,2928	1,6652	1,9917	2,3764	2,6421
77	0,6777	1,2926	1,6649	1,9913	2,3758	2,6412
78	0,6776	1,2925	1,6646	1,9908	2,3751	2,6403
79	0,6776	1,2924	1,6644	1,9905	2,3745	2,6395
80	0,6776	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
81	0,6775	1,2921	1,6639	1,9897	2,3733	2,6379
82	0,6775	1,2920	1,6636	1,9893	2,3727	2,6371
83	0,6775	1,2918	1,6634	1,9890	2,3721	2,6364
84	0,6774	1,2917	1,6632	1,9886	2,3716	2,6356
85	0,6774	1,2916	1,6630	1,9883	2,3710	2,6349
86	0,6774	1,2915	1,6628	1,9879	2,3705	2,6342
87	0,6773	1,2914	1,6626	1,9876	2,3700	2,6335
88	0,6773	1,2912	1,6624	1,9873	2,3695	2,6329
89	0,6773	1,2911	1,6622	1,9870	2,3690	2,6322
90	0,6772	1,2910	1,6620	1,9867	2,3685	2,6316
91	0,6772	1,2909	1,6618	1,9864	2,3680	2,6309
92	0,6772	1,2908	1,6616	1,9861	2,3676	2,6303
93	0,6771	1,2907	1,6614	1,9858	2,3671	2,6297
94	0,6771	1,2906	1,6612	1,9855	2,3667	2,6291
95	0,6771	1,2905	1,6611	1,9852	2,3662	2,6286
96	0,6771	1,2904	1,6609	1,9850	2,3658	2,6280
97	0,6770	1,2903	1,6607	1,9847	2,3654	2,6275
98	0,6770	1,2903	1,6606	1,9845	2,3650	2,6269
99	0,6770	1,2902	1,6604	1,9842	2,3646	2,6264

Fuente: Tabla t de Student. En línea. 16 de junio de 2010.

Es necesario hacer referencia al anteriormente citado $T(t_0, \omega)$, en la tabla anterior se pudo apreciar que para cada valor de las variables solicitadas se ha calculado un determinado valor. El valor t_0 es el grado de certeza con el que queremos realizar nuestros cálculos; mientras que ω se rige por la ecuación:

$$\omega = n - 1$$

Donde n es el número de muestras obtenidas para realizar el tabulado de datos.

Una vez que se tiene el número de muestras válidas para cada pregunta. se procede a sacar el número de grados de libertad, que será utilizado para escoger el valor correcto de la tabla T-Student, juntamente con el grado de certeza deseado; que en nuestro caso es de un 90%.

De manera que, con los valores correctos tomados de la tabla anterior, y su consecuente utilización podemos llegar a las afirmaciones que se presentan a continuación.

3.1. Resultados Obtenidos

Al aplicar la ecuación 10 con los valores apropiados de muestra y grados de libertad para cada una de las preguntas formuladas en la encuesta, se llega a las siguientes conclusiones:

3.1.1. Pregunta Número Uno

- Con un 90% de certeza, se sabe que el porcentaje de gente que posee un celular se encuentra entre 88,37% y 99,63%.

- Con un 90% de certeza, se sabe que el porcentaje de gente que NO posee un celular está entre 0,37% y 11,63%.

3.1.2. Pregunta Número Dos

- De las personas que poseen un celular, con un 90% de certeza, se sabe que entre 22,44% y 45,65% poseen un celular 3G.
- De las personas que poseen un celular, con un 90% de certeza, se sabe que entre 32,51% y 56,85% poseen un celular 2G.
- De las personas que poseen un celular, con un 90% de certeza, se sabe que entre 11,26% y 31,30% no saben si su teléfono es 2G o 3G.

3.1.3. Pregunta Número Tres

- De las personas que no tienen celular 3G, se sabe con un 90% de certeza que el porcentaje de los que quiere comprar 3G está entre 54,38% y 88,47%.
- De las personas que no tienen celular 3G, se sabe con un 90% de certeza que el porcentaje de los que NO quieren comprar 3G está entre 7,78% y 39,84%.
- De las personas que no tienen celular 3G, se sabe con un 90% de certeza que el porcentaje de los que no saben si quieren comprar o no 3G está entre 0% y 12,78%.

3.1.4. Pregunta Número Cuatro

- De las personas que tienen celular, se sabe con un 90% de certeza que:
 - El porcentaje de las personas que saben que se pueden hacer llamadas de voz con un celular es del 100%.
 - El porcentaje de las personas que saben que se pueden enviar sms con un celular está entre el 90,67% y el 100%.
 - El porcentaje de las personas que saben que se pueden mandar mms con un celular está entre el 70,95% y el 90,75%.
 - El porcentaje de las personas que saben que se pueden hacer video llamadas con un celular está entre el 38,49% y el 63,64%.
 - El porcentaje de las personas que saben que se puede acceder a *internet* vía un teléfono o un modem celular está entre el 70,95% y el 90,75%.
 - El porcentaje de las personas que saben que se puede utilizar un celular para ver televisión está entre el 40,64% y el 65,74%.

3.1.5. Pregunta Número Cinco

- Según los resultados de la encuesta, hay un 90% de certeza en afirmar que el promedio de veces que se utiliza un celular para realizar una llamada de voz está entre 25,71% y 49,43%.

3.1.6. Pregunta Número Seis

- Según los resultados de la encuesta, hay un 90% de certeza en afirmar que el promedio de veces que se utiliza un celular para enviar o recibir sms está entre 22,41% y 45,61%.

3.1.7. Pregunta Número Siete

- Según los resultados de la encuesta, hay un 90% de certeza al afirmar que el promedio de veces que se utiliza un celular para enviar o recibir mms está entre 0,46% y 12,53%.

3.1.8. Pregunta Número Ocho

- Según los resultados de la encuesta, hay un 90% de certeza al afirmar que el promedio de las veces que se utiliza un celular para enviar o recibir video llamadas está entre 0% y 5,50%.

3.1.9. Pregunta Número Nueve

- Según los resultados de la encuesta, hay un 90% de certeza al afirmar que el promedio de las veces que se utiliza un celular para acceder a *internet* está entre 7,13% Y 25,15%.

3.1.10. Pregunta Número Diez

- Según los resultados de la encuesta, hay un 90% de certeza al afirmar que el promedio de las veces que se utiliza un celular para ver televisión está entre 0% y 8,39%