



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

EVALUACIÓN DE COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN TELEFONÍA CELULAR

Josué Abraham Milián Salguero

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, mayo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN
DE TECNOLOGÍAS EN TELEFONÍA CELULAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSUÉ ABRAHAM MILIÁN SALGUERO

ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, MAYO DE 2014

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salome Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
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:

EVALUACIÓN DE COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN TELEFONÍA CELULAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 4 de octubre del 2011.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Josué Milián Salguero". The signature is fluid and cursive, with a large initial "J" and "M".

Josué Abraham Milián Salguero

Guatemala 28 de Enero del 2013

Facultad de ingeniería

Escuela Mecánica Eléctrica

USAC

Por este medio hago constar que he asesorado y aprobado la tesis que lleva como nombre "Evaluación de Costos en la Implementación de Tecnologías en Telefonía Celular" del estudiante Josué Abraham Milian Salguero que se identifica con el número de carnet 2005-12071 y No de DPI: 2545 96487 101, dando mi visto bueno.

Atentamente



Ing. Enrique Ruiz Carballo

Enrique E. Ruiz C
INGENIERO ELECTRICISTA
C.O.L. No 2728



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 69. 2013
Guatemala, 28 de ENERO 2013.

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

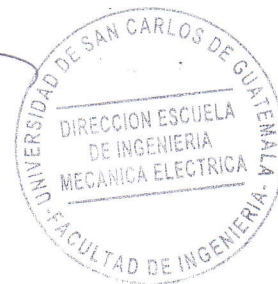
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**EVALUACIÓN DE COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE
TECNOLOGÍAS EN TELEFONÍA CELULAR**, del estudiante
Josué Abraham Milian Salguero, 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 Área Electrónica



S/O



REF. EIME 01. 2013.

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; JOSUÉ ABRAHAM MILIAN SALGUERO titulado: “EVALUACIÓN DE COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN TELEFONÍA CELULAR”, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

GUATEMALA, 28 DE ENERO 2,013.



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 301.2014

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: **EVALUACIÓN DE COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN TELEFONÍA CELULAR**, presentado por el estudiante universitario **Josué Abraham Milián Salguero**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 23 de mayo de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Primeramente por darme la vida y la bendición de tener una familia maravillosa que me apoyó en todo momento, gracias por darme la sabiduría necesaria para salir adelante.

Mis padres

Rosa Salguero de Milián y José Victor Milián Ayala. Por el sacrificio realizado para darme la oportunidad de completar este sueño, gracias por todo lo que han hecho por mí, este triunfo también es de ustedes.

Mis hermanos

Saira Roxana Milián Salguero y Mynor Estuardo Milián Salguero. Por su apoyo incondicional durante estos años, gracias por estar conmigo cuando más los necesité.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por el alto nivel académico que se brinda en esta gloriosa casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por la formación de excelentes profesionales en el área de ingeniería.

Mi asesor

Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo, por la asesoría brindada en la elaboración del presente trabajo de graduación y depositar su confianza en mi persona por lo cual estaré eternamente agradecido.

**Mis amigos de la
Facultad**

Sahymo Mejia, Walter Herrera, Boris Secaida, Eddy Velasquez, Jorge Davila, Erick Estrada, Saul Maldonado, José Maria Chacon, Melvin Linares, Jonathan Estrada, Hamilton Ixcot, Juviny Alvarez, Daniel Godoy. Por la amistad que me brindaron todos estos años.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. CONOCIMIENTOS BÁSICOS EN TELEFONÍA	1
1.1. ¿Qué es modulación?.....	1
1.1.1. Modelo de un sistema de transmisión	4
1.1.2. Fuente de información	5
1.1.3. Transductor de entrada	6
1.1.4. Transmisor.....	7
1.1.5. Canal	7
1.1.6. Receptor	8
1.2. Beneficios de la modulación	9
1.2.1. La modulación traslada el contenido de una señal	9
1.2.2. Modulación como protección contra el ruido	10
1.2.3. La modulación permite el uso de multiplexaje	11
1.3. Fuentes de ruido en las señales.....	11
1.3.1. Ruido atmosférico.....	12
1.3.2. Ruido debido a la temperatura.....	12
1.3.3. Ruido producido por el hombre.....	13
1.3.4. Ruido blanco.....	14
1.4. Técnicas de modulación digital.....	17

1.4.1.	Modulación por desplazamiento de fase	18
1.4.2.	Modulación por desplazamiento binario de fase, BPSK.....	18
1.4.2.1.	Ancho de banda en BPSK.....	19
1.4.3.	Codificación M-aria.....	20
1.4.4.	Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria	21
1.4.4.1.	Transmisor QPSK	22
1.4.4.2.	Ancho de banda con QPSK	25
1.4.4.3.	Receptor QPSK.....	26
1.4.5.	Modulación 16-PSK.....	27
1.4.6.	Modulación de amplitud en cuadratura QAM	28
1.4.6.1.	Codificación 8-QAM	28
1.4.6.2.	Transmisor 8-QAM.....	29
1.4.6.3.	Receptor 8-QAM	30
1.4.7.	Dieciséis Q-AM.....	31
1.4.7.1.	Transmisor 16-QAM.....	31
1.5.	¿Qué es demodulación?	33
1.5.1.	Demodulación síncrona.....	34
1.5.2.	Modulación por detección de envolvente	35
1.6.	¿Qué es una red de telefonía celular?	36
1.6.1.	Estación base.....	38
1.6.2.	RNC	38
1.6.3.	UTRAN.....	39
2.	TELEFONÍA CELULAR 3G.....	41
2.1.	¿Qué es la tecnología 3G?	42
2.1.1.	Despliegue de redes 3G.....	44
2.1.1.1.	Cobertura de radio	44

	2.1.1.2.	Dimensionamiento del sistema	45
	2.1.1.3.	Configuración de red y verificación.....	45
	2.1.1.4.	Aplicación y despliegue	46
	2.1.2.	Servicios 3G	47
	2.1.2.1.	Teleservicios.....	47
	2.1.2.2.	Servicios portadores.....	50
2.2.		Redes digitales UMTS	52
	2.2.1.	Sincronización de la UTRAN	54
	2.2.2.	Sincronización de red	55
	2.2.3.	Sincronización de nodo	56
	2.2.4.	Sincronización RNC/Nodo-B.....	57
	2.2.5.	Sincronización Nodo-B/Nodo-B	57
2.3.		Arquitectura de seguridad en UMTS	58
	2.3.1.	Seguridad de acceso a la red	61
	2.3.2.	Confidencialidad de los datos.....	61
	2.3.3.	Cifrado de red	62
2.4.		Tecnología WCDMA.....	63
	2.4.1.	Modulación de espectro ancho.....	65
	2.4.2.	Tolerancia de interferencia en banda estrecha.....	67
	2.4.3.	Secuencia directa del sistema de espectro ancho	71
	2.4.4.	Ejemplo de modulación	72
2.5.		Tecnología HSDPA o 3.5G.....	77
	2.5.1.	Adaptación rápida de enlace	80
	2.5.1.1.	Modulación adaptativa y codificación.....	81
	2.5.2.	Solicitud automática repetitiva híbrida, HARQ	85
	2.5.3.	Planificación rápida de paquetes	89

3.	TELEFONÍA CELULAR 4G.....	91
3.1.	¿Qué es la tecnología 4G?	91
3.1.1.	Planificación general para las redes 4G	92
3.1.2.	Problemas en el diseño de una red 4G	93
3.1.3.	Configuración de RAN en una red 4G	95
3.1.4.	Modelado de red	97
3.1.5.	Calidad de servicio QoS	97
3.1.5.1.	QoS a nivel de paquetes	98
3.1.5.2.	QoS a nivel de transacción	98
3.1.5.3.	QoS a nivel de circuito	98
3.1.6.	Ventajas y limitaciones en redes 4G	99
3.2.	Tecnologías de evolución a largo plazo LTE.....	101
3.2.1.	Tecnología OFDM	102
3.2.2.	Modulador OFDM.....	103
3.2.3.	Demodulación OFDM.....	106
3.2.4.	OFDM como esquema de multiplexación.....	108
3.2.5.	Sincronización con el equipo móvil	110
3.2.6.	Sistemas MIMO	111
3.3.	Tecnología WiMax.....	113
3.3.1.	WiMax de acceso fijo	113
3.3.2.	WiMax de acceso móvil.....	114
3.3.3.	Descripción general de WiMax.....	114
3.3.3.1.	Escalabilidad	115
3.3.3.2.	Altas tasas de datos	115
3.3.3.3.	Seguridad para WiMax.....	116
3.4.	OFDMA en WiMax	116
3.5.	MIMO para WiMax	118
3.6.	Redes celulares basadas en IPV6	119
3.6.1.	Limitaciones de IPv4	120

	3.6.1.1.	Espacio de direcciones en IPv4.....	121
	3.6.1.2.	Configuración en IPv4	121
	3.6.2.	Introducción a IPv6	122
	3.6.3.	IPv6 móvil	126
	3.6.4.	Componentes de IPv6 móvil	127
	3.6.4.1.	Enlace de inicio	128
	3.6.4.2.	Dirección permanente.....	128
	3.6.4.3.	Agente inicial	128
	3.6.4.4.	Nodo móvil.....	129
	3.6.4.5.	Dirección dinámica	129
	3.6.4.6.	Nodo correspondiente	130
	3.6.5.	Ventajas de IPv6 en telefonía móvil.....	130
4.	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELEFONÍA CELULAR.....		133
4.1.	Evaluación de costos con tecnología 3G.....		134
	4.1.1.	Costos de implementación de una celda 3G	135
	4.1.1.1.	Componentes de obra civil	136
	4.1.1.2.	Equipo de radio frecuencia 3G	137
	4.1.1.3.	Equipo de transmisión 3G	137
	4.1.1.4.	Equipo radiante 3G.....	138
	4.1.1.5.	Energía	138
	4.1.2.	Actualizar una celda a tecnología 3G	139
4.2.	Evaluación de costos con tecnología 4G.....		140
	4.2.1.	Costos de implementación de una celda 4G	141
	4.2.1.1.	Obra civil.....	142
	4.2.1.2.	Equipo de radio frecuencia	144
	4.2.1.3.	Equipo de transmisión	146
	4.2.1.4.	Equipo radiante	147

4.2.1.5.	Energía.....	149
4.3.	Instalación de equipos 4G en poste	150
4.3.1.	Obra civil	152
4.3.2.	Energía.....	154
4.4.	Análisis de ahorro energético.....	154
4.4.1.	Consumo energético 3G.....	155
4.4.2.	Consumo energético 4G.....	157
4.5.	Análisis de costos.....	160
4.5.1.	Comparación de costos de implementación.....	160
4.5.2.	Evaluación de costos de implementación.....	164
CONCLUSIONES.....		169
RECOMENDACIONES		171
BIBLIOGRAFÍA		173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ejemplo de modulación	2
2.	Sistema básico de modulación.....	4
3.	Diagrama de bloques de un sistema de comunicación	5
4.	Ruido en señales.....	14
5.	Densidad espectral del ruido blanco	16
6.	Transmisor BPSK.....	19
7.	Modulador QPSK	23
8.	Diagrama fasorial QPSK	24
9.	Fase de salida para un modulador QPSK	25
10.	Receptor QPSK.....	27
11.	Transmisor QAM	29
12.	Receptor 8-QAM	30
13.	Transmisor 16-QAM	32
14.	Sistema básico de demodulación.....	33
15.	Detección de envolvente	35
16.	Sistema de reutilización de frecuencias	37
17.	Estación base.....	39
18.	Servicios básicos en telecomunicaciones	48
19.	Red digital UMTS	53
20.	Arquitectura UMTS.....	59
21.	Esquemas de acceso múltiple.....	64
22.	Concepto del sistema de espectro ancho.....	66

23.	Secuencia directa del concepto de espectro ancho	67
24.	Proceso de estrechamiento en presencia de interferencia	68
25.	Transmisor BPSK DS-SS.....	74
26.	Secuencia directa de transmisión de datos con BPSK y operación de ensanchado	75
27.	Secuencia directa del receptor BPSK	75
28.	Constelación QPSK	82
29.	Constelación 16-QAM.....	82
30.	Adaptación rápida de enlace.....	83
31.	Capas de retransmisión	86
32.	Procedimiento de retransmisión.....	87
33.	Planificación rápida.....	90
34.	Red basada en IP	96
35.	Evolución LTE	101
36.	Pulso cuadrado y espectro de una onda subportadora.....	103
37.	Espaciamiento de subportadoras OFDM	104
38.	Modulador OFDM	104
39.	Principio básico de demodulación OFDM	107
40.	Dispersión en el tiempo y la señal recibida	108
41.	OFDM como esquema de acceso múltiple o multiplexado por el usuario: (a) downlink y (b) uplink	109
42.	Control de sincronización uplink	110
43.	Sistema de comunicación MIMO	111
44.	Estructura OFDMA.....	117
45.	Concepto de AMS en WiMax	119
46.	Red basada en IPv6.....	123
47.	Red todo IP	124
48.	Componentes de IPv6 móvil	127
49.	Obra civil	136

50.	Obra civil 4G.....	143
51.	Equipo de RF 4G.....	145
52.	Equipo de transmisión 4G	147
53.	Equipo radiante 4G	148
54.	Instalación en poste	153

TABLAS

I.	Códigos HS-PDSCH	84
II.	Costos de una celda 3G	135
III.	Cambio a una celda 3G.....	139
IV.	Costos de una celda 4G	141
V.	Instalación en poste	151
VI.	Consumo energético 3G.....	155
VII.	Consumo energético 4G.....	157
VIII.	Comparación de costos.....	161
IX.	Ahorro en equipos	162
X.	Evaluación de costos en poste.....	163
XI.	Costos de implementación	164

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
B_n	Ancho de banda
S_n	Densidad espectral de ruido gaussiano
DC	Direct Current (Corriente directa)
G_p	Ganancia de procesamiento
i_n	Interferencia de banda estrecha
RNC	Radio Network Controller (Red de control de radio)
S_w	Señal de banda ancha
T_c	Temperatura efectiva

GLOSARIO

2G	Segunda generación en tecnologías de telefonía.
3G	Tercera generación en tecnologías de telefonía.
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i> (asociación del proyecto de la tercera generación).
4G	Cuarta generación en tecnologías de telefonía móvil.
AKA	<i>Authentication and Key Agreement</i> (mecanismo de acuerdo/gestión de clave).
AM	Amplitud modulada, técnica de modulación en donde una señal de mensaje modifica a la señal portadora en amplitud.
AMS	Adaptive MIMO Switching (cambio de adaptación múltiple entrada múltiple salida, MIMO).
AuC	<i>Authentication Centre</i> (centro de autenticación).
Baudio	Es una unidad de medida usada en telecomunicaciones para representar la cantidad de veces que cambia el estado de una señal en un

período de tiempo tanto para señales digitales como para señales analógicas.

BER	<i>Bit Error Ratio</i> (relación de error de bit).
BPSK	<i>Binary Shift Keying</i> (modulación por desplazamiento binario de fase).
BS	<i>Base station</i> (estación base).
BTS	<i>Base Transceiver Station</i> (estación base emisora/receptora).
CBR	<i>Constant Bit Rate</i> (tasa de bits constante).
CN	<i>Core Network</i> (Núcleo de la red).
CS	<i>Circuit Switched</i> (circuitos conmutados).
CW	<i>Continuus Wave</i> (onda continua).
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i> (convertidor analógico digital).
DC	<i>Direct Current</i> (corriente directa).
DL	<i>Downlink</i> (enlace de bajada).

DS-SS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> (secuencia directa de espectro ensanchado).
Efecto corona	Es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma luminosa a su alrededor. Dado que los conductores suelen ser de sección circular toma una forma similar a una corona.
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i> (división de frecuencia dúplex).
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i> (división de frecuencia de acceso múltiple).
FM	Frecuencia modulada, técnica de modulación en donde una señal de mensaje modifica una señal portadora en frecuencia.
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> (paquete general de servicios de radio).
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> (sistema global para comunicaciones móviles).
HE	<i>Home Environment</i> (entorno doméstico).
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i> (subsistema multimedia IP).

IP	<i>Internet Protocol</i> (protocolo de internet).
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> (unión internacional de telecomunicaciones).
MAC	<i>Medium Access Control</i> (control de acceso medio).
ME	<i>Mobile Equipment</i> (equipo móvil).
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i> (múltiple entrada múltiple salida).
MS	<i>Mobile Station</i> (estacion móvil).
MT	<i>Mobile Termination</i> (terminal móvil).
MTIE	<i>Maximum Time Interval Error</i> (tiempo máximo de error de intervalo).
NAT	<i>Network Address Translators</i> (traductor de direcciones de red).
OFDM	<i>Orthogonal Frequency División Multiplexing</i> (multiplexación por división de frecuencia ortogonal).
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency División Múltiple Access</i> (acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal).

OSI	<i>Open System Interconnection</i> (interconexión de sistemas abiertos).
PAM	<i>Pulse Amplitude Modulation</i> (modulación por amplitud de pulso).
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i> (jerarquía digital plesiócrona).
Permutaciones	Es el número de formas distintas en que pueden acomodarse los elementos de un conjunto finito compuesto por elementos diferentes.
PS	<i>Packet Switched</i> (paquetes conmutados).
PSK	<i>Phase Shift Keying</i> (modulación por desplazamiento de fase).
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i> (modulación de amplitud en cuadratura).
QoS	<i>Quality of Service</i> (calidad de servicio).
QPSK	<i>Quaternary Phase Shift Keying</i> (modulación por desplazamiento de fase cuaternaria).
RAN	<i>Radio Access Network</i> (red de acceso de radio).
RC	Resistencia capacitor.

RNC	<i>Radio Network Controller</i> (red de control de radio).
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i> (jerarquía digital síncrona).
SMS	<i>Short Message Service</i> (servicio de mensajes cortos).
SN	<i>Serving Network</i> (servidor de red).
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i> (relación señal a ruido).
TDD	<i>Time Division Duplex</i> (división de tiempo duplex).
Teorema de Muestreo	El teorema de muestreo <i>Nyquist-Shannon</i> es un teorema fundamental en la teoría de la información el cual indica que para reconstruir una señal continua en el tiempo la señal de muestreo tiene que ser como mínimo dos veces mayor a la frecuencia máxima de la señal muestreada.
UE	<i>User Equipment</i> (equipo de usuario).
UIC	<i>User Identification Centre</i> (centro de identificación del usuario).
UL	<i>Uplink</i> (enlace de subida).

UMTS	<i>Universal Mobile Telephone System</i> (sistema universal de telefonía móvil).
USIM	<i>User Services Identity Modules</i> (módulos de servicio de identidad del usuario).
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i> (red de acceso de radio terrestre UMTS).
VoIP	Voz sobre IP.
WCDMA	<i>Wide-band Code División Multiple Access</i> (acceso múltiple por división de código de banda ancha).
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i> (fidelidad inalámbrica).
WiMax	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> (interoperabilidad mundial para acceso por microondas).

RESUMEN

En el capítulo uno se muestran los conceptos básicos en telefonía móvil, estos conceptos abarcan desde el tipo de modulación que se utiliza, la diferencia entre cada tipo de modulación y en qué circunstancia son mejores, hasta el concepto de qué es la demodulación de señales.

En este capítulo también se habla del sistema básico de transmisión, conceptos sobre la fuente de la información, los distintos tipos de canales donde puede viajar dicha información y el sistema receptor el cual se encarga de recuperar el mensaje enviado originalmente. Otro de los conceptos mostrados en este capítulo es sobre los beneficios de la modulación, como su protección contra el ruido y permite el uso de multiplexaje para la transmisión de señales lo cual hace que las técnicas de modulación sean una forma eficiente de transmitir señales.

Por último y no menos importante el capítulo uno presenta las distintas fuentes de ruido en señales, ya que el ruido es un fenómeno que siempre está presente en señales analógicas o digitales y también se habla sobre el concepto básico de cómo está compuesta una red de telefonía celular en Guatemala.

En el capítulo dos se habla sobre cómo está integrada la tercera generación de tecnología en telefonía celular comúnmente llamada 3G, cuáles son los aportes de esta tecnología, así como, el tipo de modulación que utiliza lo que la hace una tecnología mucho más eficiente a las anteriores.

En el capítulo dos se describen los servicios que aporta la tercera generación de telefonía como llamadas de emergencia, llamadas en conferencia, acceso rápido a internet, así como, una explicación básica de la estructura de seguridad y de la estructura general de una red digital de tercera generación.

En este capítulo también se muestra el funcionamiento de la técnica de modulación de acceso múltiple por división de código de banda ancha, esta técnica es la base de esta generación de tecnología junto con la tecnología de acceso de paquetes de alta velocidad.

El capítulo tres muestra los conceptos de las tecnologías que forman una red de cuarta generación, las ventajas y desventajas de una red con equipos de cuarta generación y un concepto básico sobre la planificación de estas redes y de cuáles son sus problemas de diseño, también se presentan los nuevos servicios que proporciona una de estas redes como un ancho de banda grande para tener una conexión de datos rápida y una de las más grandes novedades que presenta esta nueva generación de tecnologías, redes basadas en protocolos de internet versión 6 o comúnmente llamada IPV6.

En el capítulo tres también se muestra el concepto de las tecnologías de evolución a largo plazo LTE por sus siglas en inglés, las técnicas de modulación que utiliza esta tecnología lo que hace posible alcanzar grandes anchos de banda en la transmisión de datos en redes móviles.

El capítulo cuatro presenta una evaluación en los costos de implementación de tecnologías de telefonía celular de tercera y cuarta generación en Guatemala comparando el costo de los equipos en cada una de estas dos generaciones, este capítulo muestra un análisis de costos en el caso en que se desea implementar una celda de telefonía totalmente nueva ya sea para ampliar una red o actualizar la red existente y permite ver si es más eficiente implementar una celda de tercera generación o una celda con equipos de cuarta generación.

En este capítulo se presentan las novedades de la implementación de tecnologías de cuarta generación como sus equipos de tamaño reducido y su instalación en postes, un consumo energético mucho menor a tecnologías anteriores, reducción en los costos de operación y el beneficio más significativo que presenta esta generación de tecnología es el precio reducido en sus equipos, en comparación con la tecnología de tercera generación, así como, la reducción en el tiempo de instalación.

OBJETIVOS

General

Presentar una evaluación de costos en la implementación de tecnologías de telefonía celular en Guatemala.

Específicos

1. Analizar las tecnologías en redes digitales de telefonía celular de tercera generación UMTS.
2. Analizar y desarrollar la técnica de modulación WCDMA utilizada en redes de tercera generación.
3. Analizar las tecnologías que forman las redes en telefonía celular de cuarta generación.
4. Analizar las redes de telefonía utilizando el protocolo de internet IPV6.
5. Evaluar los costos en la implementación de estos nuevos equipos.

INTRODUCCIÓN

Al momento de implementar tecnologías de telefonía celular en Guatemala se debe tomar en cuenta el valor económico, por este motivo se debe realizar un análisis sobre la evaluación en los costos de implementación de estas tecnologías en telefonía móvil.

Una evaluación financiera sobre los costos de implementación permite dar a conocer el capital con el cual se debe contar para la implementación de estas tecnologías en telefonía, este análisis muestra una comparación entre el costo de tecnologías nuevas como la cuarta generación de telefonía celular y tecnologías actuales como la tercera generación, teniendo esta comparación de costos entre estas dos tecnologías se puede tomar una decisión sobre si es factible la implementación de nuevas tecnologías o si representan en costo muy elevado comparado con las tecnologías actuales.

La evaluación de costos en la implementación de tecnologías es un método que permite saber financieramente qué es más eficiente, si ampliar la red de telefonía utilizando la tecnología actual 3G o si es más económico ampliar la red utilizando tecnologías nuevas como la 4G.

1. CONOCIMIENTOS BÁSICOS EN TELEFONÍA

Los métodos de comunicación inalámbricos a larga distancia han evolucionado de manera significativa, la telefonía inalámbrica ha pasado por varias generaciones de tecnologías que han cambiado la manera básica que se tenía para comunicarse. Existen algunos conocimientos básicos sobre las telecomunicaciones que se deben tener claros para comprender de una mejor manera cómo funcionan las nuevas tecnologías en telefonía celular.

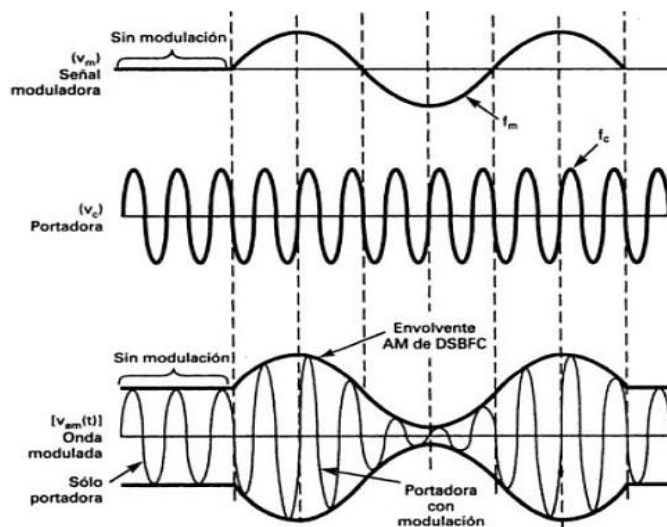
1.1. ¿Qué es modulación?

El término modulación engloba el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos.

Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que se quiere transmitir.

En la figura 1 se puede observar como una señal moduladora y una portadora forman la señal de mensaje o señal modulada, modificando la amplitud de la señal portadora.

Figura 1. **Ejemplo de modulación**



Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 101.

El objetivo de modular una señal, es tener un control sobre la misma, el control se hará sobre ciertos elementos característicos de una oscilación continua, estos son modificados según la forma de onda de la señal que se desea transmitir.

Un punto muy importante sobre la modulación es que permite usar frecuencias altas deseando transmitir distintos mensajes de audio a una determinada frecuencia para evitar que una señal de audio interrumpa otra señal de audio cuando son transmitidas por el ambiente.

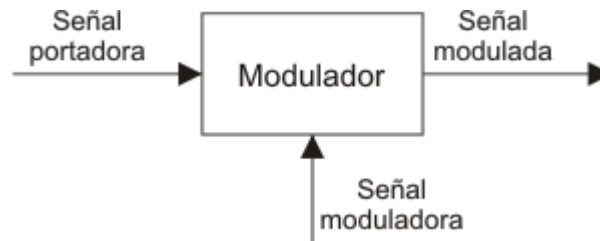
Existen muchas técnicas de modulación, como la modulación digital y modulación análoga. Los parámetros o magnitudes fundamentales de una señal analógica son: amplitud, frecuencia y fase.

Algunos ejemplos muy comunes de este tipo de modulación análoga es la señal de radio, la cual usa dos tipos de modulación análoga: la modulación de frecuencia FM y la modulación en amplitud AM.

En la modulación en frecuencia FM, la señal portadora es modificada únicamente en frecuencia por el mensaje que es transmitido y la amplitud de la señal portadora es continua, la frecuencia de la señal portadora oscila más rápidamente o más lentamente dependiendo de la señal moduladora, un punto muy importante que se debe destacar de la modulación en frecuencia es que si el ruido afecta la amplitud de la señal modulada, esto no tiene importancia cuando se recupere la información ya que lo único que importan son los cambios de frecuencia de la señal modulada.

En la modulación en amplitud AM, la señal portadora es modificada en su amplitud por la señal moduladora o de mensaje, causando un aumento o decremento en la amplitud de la señal portadora, en este tipo de modulación la frecuencia no sufre ningún cambio y el ruido afecta significativamente la señal modulada.

Figura 2. **Sistema básico de modulación**



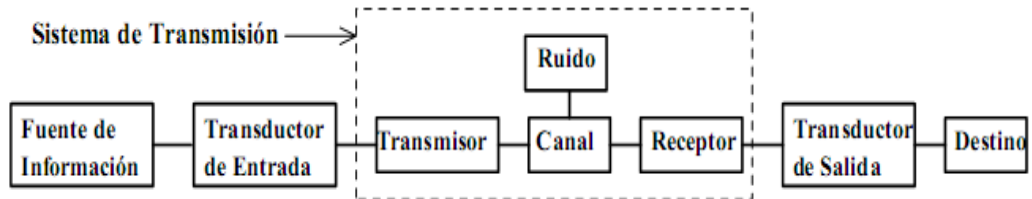
Fuente: BRICEÑO MÁRQUEZ, José E. *Principio de las comunicaciones*. p. 87.

Básicamente, la técnica de modulación está formada por una señal portadora y una señal moduladora, la unión de estas dos señales en un modulador producen una señal modulada, dicha señal puede ser transmitida en un canal con una frecuencia distinta a la señal de mensaje.

1.1.1. **Modelo de un sistema de transmisión**

Un sistema de transmisión cuenta con varias etapas que son necesarias para que la información llegue adecuadamente al receptor, en la figura 3 se puede ver un diagrama en bloques de un sistema de transmisión de información básico, el cual está formado por la fuente de información, transductor de entrada, los cuales entran al sistema de transmisión que está compuesto por; el transmisor, el canal y el receptor, estos llegan el transductor de salida y por último es recibido en el destino.

Figura 3. **Diagrama de bloques de un sistema de comunicación**



Fuente: BRICEÑO MÁRQUEZ, José E. *Principio de las comunicaciones*. p. 261.

1.1.2. Fuente de información

La información que se desea transmitir, se origina en la fuente de información, dicha información se materializa como un conjunto, que se supondrá finito y discreto, de N símbolos o mensajes distintos e independientes y cuyo significado es revelado en el destino del sistema. Dicha fuente de información también es llamada, fuente discreta sin memoria.

La fuente de información puede ser de muchas clases, como personas y máquinas, de manera que los símbolos o mensajes pueden tomar una gran variedad de formas, letras, secuencias de símbolos, una magnitud que varía en el tiempo. Pero sin importar cual sea el mensaje el propósito del sistema de comunicación es llevar dicho mensaje exactamente igual al destino.

1.1.3. Transductor de entrada

Primero se debe recordar la definición de un transductor, este es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra, un ejemplo de un transductor es un termistor, este dispositivo varia su resistencia dependiendo de la temperatura que perciba, convierte la temperatura en variaciones de resistencia, en otras palabras convierte una forma de energía (temperatura) en otra (variaciones de resistencia) que puede ser usado en casos específicos.

Como el mensaje es de naturaleza no eléctrica es necesario un transductor o codificador que convierta el mensaje en una señal de magnitud eléctrica variable en el tiempo (voltaje, corriente), que se acomode al tipo sistema de comunicación que se emplee.

Note la diferencia entre información, mensaje y señal: información es la inteligencia o significado que se va a transmitir; es una entidad intangible. Mensaje es la materialización de la información en una cantidad mensurable, el mensaje es el soporte de la información. Señal es la magnitud eléctrica que resulta de la transformación de una magnitud no eléctrica portadora de información, en una magnitud eléctrica variable en el tiempo.

Se tiene que mencionar que, el número de elementos del conjunto de las señales de salida del transductor debe ser igual al número de elementos del conjunto de símbolos o mensajes de la fuente de información. La señal de salida del transductor se conoce también con el nombre de “señal de mensaje”.

El transductor de salida o decodificador, efectúa la operación inversa del transductor de entrada, es decir, convierte las señales eléctricas recibidas en los símbolos o mensajes que fueron enviados originalmente en el sistema, los cuales son recibidos en el punto final del sistema o el destino del mensaje.

1.1.4. Transmisor

En algunas ocasiones se puede encontrar que el transductor de entrada este directamente conectado al canal de transmisión, como es el caso de un sistema telefónico local, en este caso generalmente es necesario modular una señal sinusoidal con la señal del transductor de entrada cuando es una transmisión a larga distancia. La modulación es la variación de alguna característica de la señal portadora, que concuerda con la señal de mensaje o señal moduladora.

1.1.5. Canal

El canal de transmisión es el enlace entre el transmisor y el receptor, puede ser un par de cables conductores, un cable coaxial, fibra óptica o simplemente el ambiente, en el cual la señal se propaga como una onda electromagnética.

Cuando la señal se propaga a través del canal, dicha señal se distorsiona gracias a la no linealidad y a las imperfecciones en la respuesta en frecuencia del canal. El ruido que recoge la señal al pasar por el largo del canal también ocasiona degradación en la señal transmitida.

1.1.6. Receptor

El objetivo del receptor es recuperar la señal deseada a partir de la señal transmitida y degradada por el canal. Como las señales recibidas generalmente son débiles y con bastante ruido, una de las principales tareas del receptor es la filtración y amplificación de la señal para que se pueda procesar adecuadamente.

Pero la principal función del receptor es la demodulación, que es el proceso inverso de la modulación en el transmisor: debido a que la señal recibida está en mal estado, el receptor no puede reconstruir exactamente la señal original, por lo que se emplean técnicas distintas de demodulación para reproducirla con exactitud la señal recibida, aunque la calidad de la señal depende del sistema de modulación empleado para transmitir la señal original.

1.2. Beneficios de la modulación

El uso de la modulación no es únicamente para los sistemas de comunicación. La modulación de una manera u otra se usa para el procesamiento de señales, radio telemetría, radar, sonar, en sistemas de control y en instrumentos de propósito general como los analizadores de espectro y los sintetizadores de frecuencia. Pero, es en el estudio de los sistemas de comunicación en donde se encuentra que la modulación tiene un papel dominante. En el tema de los sistemas de comunicación, se puede destacar tres beneficios prácticos que provienen del uso de la modulación, los cuales son detallados a continuación.

1.2.1. La modulación traslada el contenido de una señal

La modulación es usada para trasladar el contenido espectral de una señal de mensaje, de tal manera que esta se encuentre dentro de la banda de frecuencias de operación de un canal de comunicación. Se debe considerar un ejemplo, la comunicación telefónica a través de un canal de radio celular, para una aplicación de este tipo, los componentes de frecuencia de una señal de voz son de aproximadamente de 300 Hz a 3 100 Hz, que son considerados adecuados para la comunicación.

En Norteamérica la banda de frecuencias asignada para radio celulares esta en el rango de los 800 MHz a 900 MHz. La banda de frecuencias de 824 MHz a 849 MHz es usada para recibir señales de las unidades móviles y la banda de frecuencias de 869 MHz a 894 MHz es utilizada para transmitir señales a las unidades móviles. Para que esta forma de comunicación telefónica funcione adecuadamente, se necesitan hacer dos cosas: trasladar el contenido espectral esencial de la señal de voz de manera que quede dentro de la banda establecida para transmisión y luego trasladarla de regreso a la banda de recepción, la primera de estas opciones es la modulación y la segunda es la demodulación.

1.2.2. Modulación como protección contra el ruido

En los sistemas de comunicación, la señal que es recibida casi siempre se contamina con ruido generado en el receptor o por la interferencia que se añade cuando la señal viaja a través del canal de comunicación. Las formas específicas de modulación, como la modulación de frecuencia y la codificación de pulsos, tienen la capacidad de intercambiar el incremento del ancho de banda de transmisión por un mejor desempeño en el sistema ante la presencia de ruido. Pero se debe tener cuidado al decir que esta importante propiedad no la comparten todas las técnicas de modulación.

1.2.3. La modulación permite el uso del multiplexaje

Un canal de comunicación (cable coaxial, enlace de fibra óptica, canal de comunicaciones de satélite, etcétera) representa una inversión de capital y por este motivo debe usarse de una manera en la que el costo sea el adecuado. El multiplexaje es una técnica de procesamiento de señales que hace esto posible, permitiendo una transmisión simultánea de señales que llevan información de varias fuentes diferentes por el canal y hacia sus respectivos destinos. Se puede usar el multiplexaje por división de frecuencia con técnicas de modulación de onda continua o el uso de multiplexaje por división de tiempo para su uso con técnicas de modulación de pulsos digitales.

1.3. Fuentes de ruido en las señales

Ruido, es el término que se utiliza comúnmente para definir aquellas señales que perturban la transmisión y procesamiento de señales en los sistemas de comunicación y sobre las cuales no se tiene un completo control.

El ruido que afecta a un sistema de comunicación se clasifica en categorías dependiendo de su origen. Cuando el ruido es originado por algunos componentes del sistema como resistencias, tubos al vacío y dispositivo de estado sólido, se le conoce como ruido interno.

Otra categoría de ruido que afecta las señales en los sistemas de comunicación se origina debido a fuentes externas al sistema, en esta categoría se incluye el ruido atmosférico, térmico y el ruido producido por el hombre. Estos tipos de ruido se explican detalladamente a continuación.

1.3.1. Ruido atmosférico

Es el ruido producido por descargas eléctricas asociadas a tormentas. Se le conoce comúnmente como estática. Por debajo de los 10MHz, la intensidad de campo es inversamente proporcional a la frecuencia. En el dominio del tiempo se le conoce por su característica por tener impulsos de gran amplitud y poca duración, el cual es un ruido de tipo impulsivo y afecta más a la banda de frecuencias medias (radiodifusión) que a la banda de FM o TV, en la transmisión de datos es de vital importancia. Los elementos como los rayos y la lluvia son factores que dificultan la transmisión de señales.

1.3.2. Ruido debido a la temperatura

Esta fuente de ruido incluye el ruido debido al sol y otros cuerpos calientes en el espacio. Debido a su alta temperatura y su cercanía con la tierra, el sol es una fuente intensa de energía radiante en una amplia gama de frecuencias.

Las estrellas son fuente de energía radiante de banda ancha, que aunque estén bastante distantes y por este motivo son menos intensas, por ser bastante numerosas son una fuente de ruido significativa. Radio estrellas, tales como quásares y pulsares también contribuyen al ruido cósmico que en conjunto se extiende desde unos cuantos MHz hasta unos cuantos GHz.

El ruido térmico también es producido por el movimiento equivocado de los electrones libres en un elemento conductor como lo es una resistencia. La energía térmica mantiene los electrones libres en constante movimiento, pero este movimiento es de tipo aleatorio debido a las múltiples colisiones que los electrones experimentan.

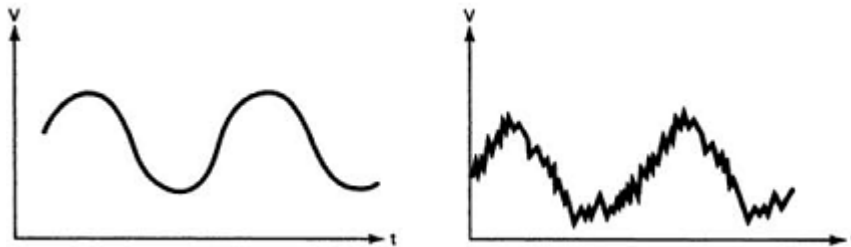
El movimiento neto de los electrones positivos o negativos constituyen una corriente eléctrica cuya dirección de flujo es también aleatoria y cuyo valor promedio es de cero.

1.3.3. Ruido producido por el hombre

Esta categoría de ruido incluye las descargas por efecto de corona en líneas de alta tensión, el producido por motores eléctricos, ruido de conmutación, arranque y paro de equipo de potencia, en general todo equipo de potencia produce ruido y un mal funcionamiento del equipo electrónico.

El equipo electrónico es vulnerable al ruido producido por el equipo de potencia, este equipo produce transitorios y armónicos que distorsionan significativamente las señales en telecomunicaciones, también una red eléctrica en mal estado es una fuente de ruido o simplemente que el equipo no cuente con protección como un adecuado sistema de puesta a tierra.

Figura 4. **Ruido en señales**



Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 34.

1.3.4. **Ruido blanco**

Además de las fuentes de ruido mencionadas anteriormente, hay otros tipos de fuentes de ruido que son gaussianas, de valor promedio cero y que tienen una densidad espectral de potencia que es constante dentro de una extensa gama de frecuencias.

Ruido que tenga una densidad espectral de este tipo se le conoce como ruido blanco, por analogía con la luz blanca la cual contiene iguales cantidades de todas las frecuencias que pertenecen al aspecto visible de la radiación electromagnética.

En general la densidad espectral del ruido blanco gaussiano se representa de la siguiente manera.

$$S_n(f) = \frac{\eta}{2} \text{ para todo } f$$

El factor $\frac{1}{2}$ se incluye para indicar que la mitad de la potencia está asociada con las frecuencias positivas y la otra mitad con las frecuencias negativas. Las dimensiones de η son W/Hz y su valor depende del tipo de fuente de ruido y de la densidad espectral disponible.

$$\eta = 4kTR = kT_e$$

El término T_e se conoce con el nombre de temperatura efectiva o equivalente de ruido y se define de la siguiente manera.

$$T_e = 4RT$$

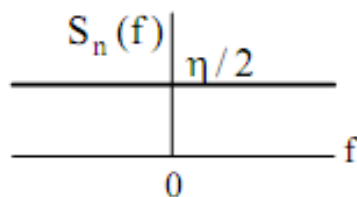
La temperatura equivalente de ruido especifica la potencia de ruido térmico disipada en una resistencia acoplada y es la temperatura efectiva de una fuente de ruido térmico blanco a la entrada de un sistema con ruido que se requeriría para producir la misma potencia de ruido a la salida de un sistema equivalente sin ruido.

Se puede observar que la temperatura equivalente de ruido no es la misma del ambiente del sistema llamada T , pero la temperatura equivalente si es directamente proporcional a la temperatura ambiente.

Las propiedades matemáticas del ruido blanco gaussiano son muy convenientes en el análisis y comportamiento de sistemas de comunicación, en efecto, dentro de las gamas de frecuencia utilizadas en la práctica, el uso del concepto de ruido blanco es consistente con su definición porque la densidad espectral de potencia puede considerarse constante en esas gamas.

Por otro lado, Shannon ha demostrado que el ruido blanco gaussiano es el peor ruido entre todos los ruidos posibles y que su potencia en un ancho de banda dado es también la más alta posible. La potencia de ruido blanco gaussiano representa entonces un límite superior que se utiliza como referencia en el cálculo de las relaciones señal/ruido en sistemas de comunicación.

Figura 5. **Densidad espectral del ruido blanco**



Fuente: BRICEÑO MÁRQUEZ, José E. *Principio de las comunicaciones*. p. 161.

1.4. Técnicas de modulación digital

La información que se necesita enviar a través de un sistema de comunicación en forma de símbolos puede ser analógica como la voz humana, música, imágenes, en resumen señales continuas en el tiempo. Pero también puede ser digital, como los números codificados de un sistema binario, códigos alfanuméricos, símbolos gráficos, los códigos de operación de los microprocesadores o la información de una base de datos, en otras palabras señales discretas. Como es común la información de la fuente está en una forma que no es eficiente para su transmisión y se debe convertir para que su transmisión sea la más adecuada.

Los sistemas tradicionales de comunicación usan técnicas convencionales de modulación, como la modulación de amplitud (AM), la modulación de frecuencia (FM) y la modulación de fase (PM). Pero debido a la necesidad de transmitir distintos tipos de información, han surgido métodos de modulación digital, los cuales poseen muchas ventajas notables, sobre los sistemas analógicos convencionales, algunas de estas características son, la facilidad de procesamiento, un uso más eficiente del ancho de banda, facilidad de multiplexado y una mejor inmunidad al ruido.

Existen muchas técnicas de modulación digital, algunas con mejores características para una aplicación específica, algunas de las técnicas más usadas en las tecnologías de tercera y cuarta generación de telefonía se amplían a continuación.

1.4.1. Modulación por desplazamiento de fase

La modulación por desplazamiento de fase PSK (*phase-shift keying*) es una forma de modulación digital angular constante, en donde la señal de entrada es una señal digital binaria y es posible tener una cantidad limitada de fases de salida, una característica de esta técnica de modulación es que hace variar la fase de la señal portadora en un número de valores discretos.

1.4.2. Modulación por desplazamiento binario de fase, BPSK

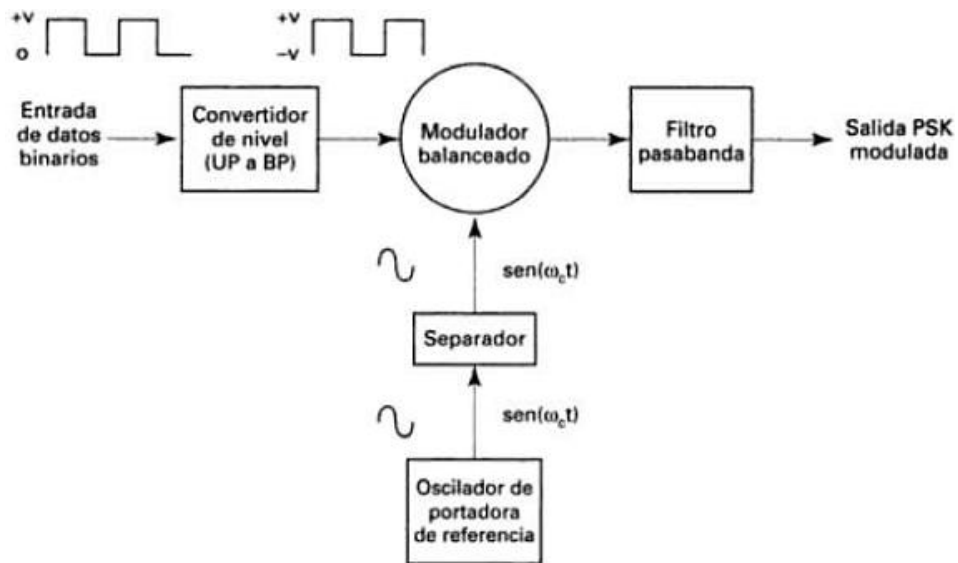
En la modulación por desplazamiento binario de fase BPSK (*binary-shift keying*), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia portadora, de ahí el término binario que significa dos. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Cuando la señal de entrada digital cambia de estado, la fase de la portadora de salida varía entre dos ángulos que están desfasados 180° . La modulación por desplazamiento binario de fase tiene otros nombres, como por ejemplo; modulación por inversión de fase PRK (*phase reversal keying*) y modulación bifase.

La modulación por desplazamiento binario de fase BPSK es una técnica de modulación de onda cuadrada con portadora suprimida de una señal de onda continua CW (*continuous wave*).

1.4.2.1. Ancho de banda en BPSK

Primero se debe recordar la definición de un modulador balanceado, el cual es un modulador de producto, en donde la señal de salida es el producto de las dos señales de entrada. En el modulador BPSK, la señal portadora en la entrada se multiplica con los datos binarios. Se asigna $+1\text{ V}$ al uno lógico y -1 V al cero lógico y la portadora de entrada $\text{sen}(\omega_c t)$ se multiplica por un $+1$ o un -1 , entonces, la señal de salida puede ser $+1 \text{ sen}(\omega_c t)$, o $-1 \text{ sen}(\omega_c t)$. El primer producto representa una señal que está en fase con el oscilador de referencia y el segundo producto es una señal que está desfasada 180° con el oscilador de referencia.

Figura 6. Transmisor BPSK



Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 479.

Cada vez que se cambia la condición lógica en la entrada, cambia la fase de salida. En conclusión para la modulación BPSK, la tasa de cambio de salida (baudios) es igual a la tasa de cambio de la entrada (bps) y el ancho de banda máximo de salida se obtiene cuando los datos binarios en la entrada son una secuencia de 1 y 0 alternados.

1.4.3. Codificación M-aria

El término M-ario (eme ario) se deriva de la palabra binario, la letra M solo es un dígito que representa la cantidad de condiciones o combinaciones posibles para determinada cantidad de variables binarias. La técnica de modulación BPSK, usa un sistema binario, codifican bits individuales y sólo hay dos posibles valores de salida. El sistema BPSK es un sistema M-ario en donde M tiene un valor de dos.

En la modulación digital, algunas veces es mejor codificar a un nivel mayor que el binario. Por ejemplo, un sistema PSK con cuatro fases de salida posible es un sistemas M-ario en el que M tiene el valor de cuatro, si hay ocho fases de salida M tiene un valor de ocho y así sucesivamente.

La cantidad de condiciones de salida se calcula mediante la ecuación

$$N = \log_2 M$$

Donde:

N = cantidad de bits codificados

M = cantidad de condiciones posibles de salida con N bits

Por ejemplo, si se permite que entren dos bits en un modulador, antes que se permita cambiar la salida,

$$2 = \log_2 M$$

$$2^2 = M$$

$$M = 4$$

Con un valor de $M = 4$ se indica que, con dos bits son posibles cuatro condiciones de salida diferentes.

1.4.4. Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria

La modulación por desplazamiento de fase cuaternaria QPSK (*quaternary-phase-shift-keying*), también llamada PSK en cuadratura, es otra técnica de modulación digital angular y de amplitud constante. La QPSK es una técnica de modulación M-aria de codificación, en la que $M = 4$, de ahí se origina el nombre ya que cuaternario significa cuatro.

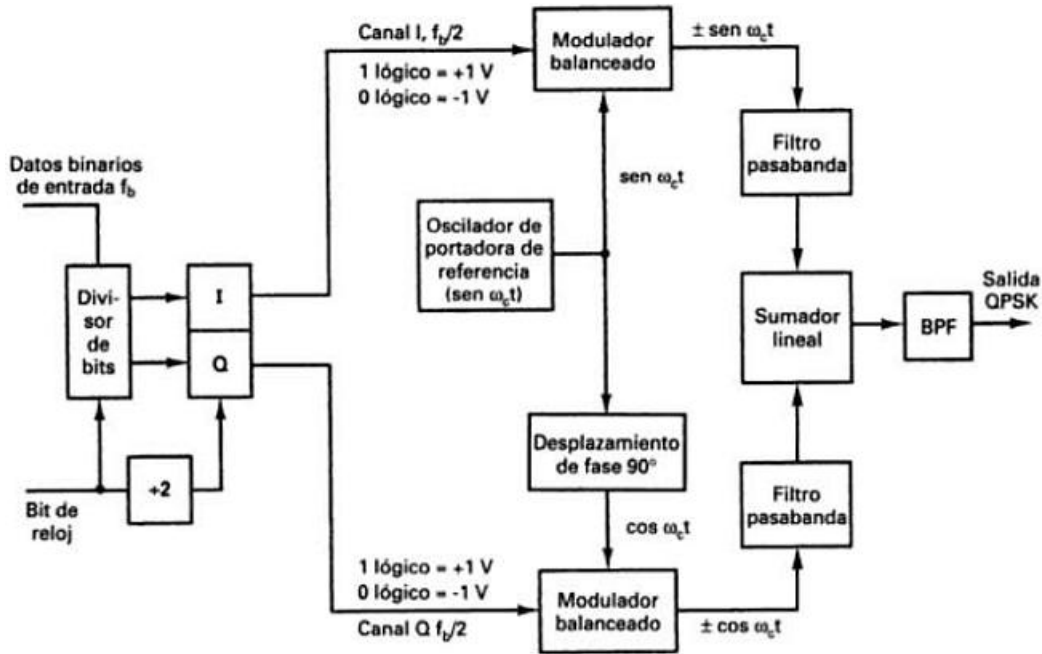
Con esta técnica de modulación digital es posible tener cuatro fases de salida para una sola frecuencia de portadora, como hay cuatro fases de salida distintas, debe haber cuatro condiciones de entrada diferentes. Como la entrada a un modulador QPSK es una señal binaria, para que pueda producir cuatro condiciones diferentes de entrada se necesita más de un bit de entrada. Con dos bits de entrada hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10, 11. Esto quiere decir que en la modulación digital QPSK, los datos binarios de entrada se agrupan en pares de bits, llamados dibits. Cada uno de los dibits de código genera una de las cuatro posibles fases posibles de salida.

Entonces para cada dibit de dos bits sincronizado en el modulador, se obtiene un solo cambio en la salida, esto quiere decir, que la tasa de cambio en la salida es la mitad de la tasa de cambio de entrada de bits.

1.4.4.1. Transmisor QPSK

En la figura 7 se puede observar un diagrama de bloques de un modulador QPSK. Un dibit (dos bits) se sincroniza en el divisor de bits, después de que los bits entraron en serie, salen en forma simultánea y en paralelo. Un bit utiliza el canal I y el otro bit utiliza el canal Q, el bit I modula una portadora que está en fase con el oscilador de referencia y el bit Q modula una portadora que está desfasada 90° o en cuadratura, respecto a la portadora de referencia.

Figura 7. **Modulador QPSK**



Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 485.

Luego los canales I y Q trasladan un dibit cada uno y la operación que sigue en cada canal es la misma que la de un modulador BPSK, tal y como se puede ver un modulador QPSK es la unión de dos moduladores BPSK en paralelo.

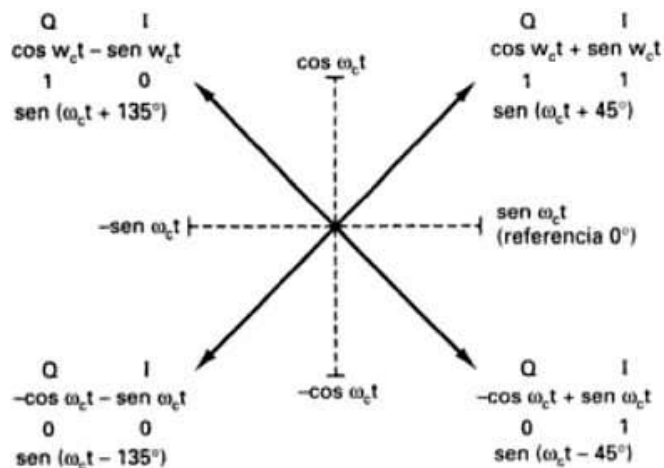
Definiendo los valores, para un uno lógico +1V y para un cero lógico -1V, son posibles dos fases en la salida del modulador balanceado de cada canal, para el modulador balanceado del canal I la salida puede ser $+\sin(\omega_c t)$ y $-\sin(\omega_c t)$. Las dos fases posibles en el canal Q pueden ser, $+\cos(\omega_c t)$ y $-\cos(\omega_c t)$.

Después, un sumador lineal combina las dos señales en cuadratura, es decir, desfasadas 90° se producen cuatro posibles fasores resultantes, los cuales son:

$$\begin{aligned}
 &+ \text{sen } \omega_c t + \text{cos } \omega_c t \\
 &+ \text{sen } \omega_c t - \text{cos } \omega_c t \\
 &- \text{sen } \omega_c t + \text{cos } \omega_c t \\
 &- \text{sen } \omega_c t - \text{cos } \omega_c t
 \end{aligned}$$

Una característica muy importante de estos cuatro fasores es que todos tienen la misma amplitud, así la información binaria se debe codificar por completo en la fase de la señal de salida. Como se puede observar en la figura 8, la separación angular entre dos fasores adyacentes será siempre de 90° .

Figura 8 . **Diagrama fasorial QPSK**

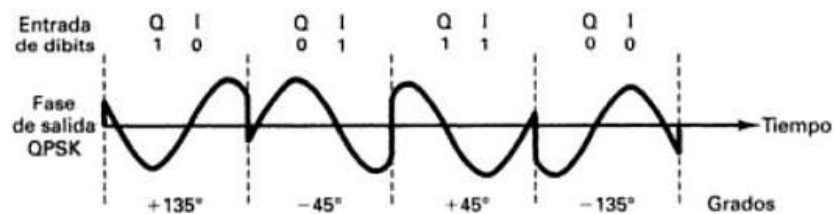


Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 486.

Entonces una señal QPSK puede tener a lo máximo un desfase de $+45^\circ$ - 45° durante una transmisión y puede retener de forma correcta la información codificada cuando se demodula en el receptor.

En la figura 9 se muestra la relación de fase de salida en función del tiempo para un modulador QPSK.

Figura 9. Fase de salida para un modulador QPSK



Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 486.

1.4.4.2. Ancho de banda con QPSK

En la modulación QPSK los datos de entrada se dividen en dos canales y la rapidez en cualquiera de los dos canales I y Q es igual a la mitad de la rapidez de entrada de datos. Este divisor de bits, estira los bits al doble de la longitud de entrada, como efecto de esto la mayor parte de la frecuencia fundamental presente en la entrada de datos al modulador balanceado I o Q es igual a la cuarta parte de la rapidez de bits de entrada (baudios).

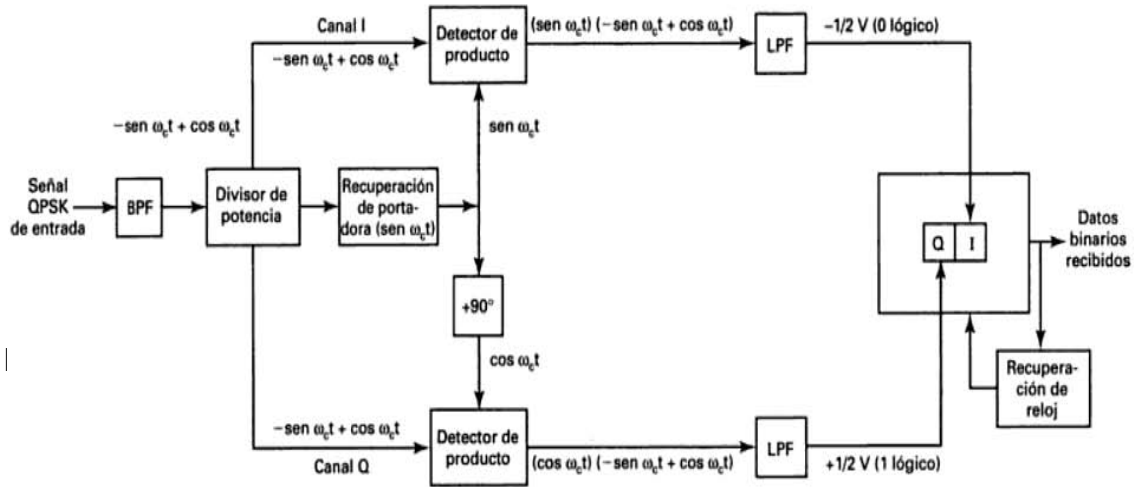
Entonces, la salida de los moduladores balanceados I y Q necesitan un ancho de banda bilateral Nyquist mínimo igual a la mitad de la frecuencia de bits de entrada. Gracias a esto en QPSK se obtiene una compresión de ancho de banda. Dado que la señal de entrada no cambia de fase hasta que han entrado dos bits, la velocidad máxima de cambio (baudios) en la salida es también igual a la mitad de la rapidez de bits de la entrada.

1.4.4.3. Receptor QPSK

En la figura 1.10 se puede observar el diagrama en bloques de un receptor QPSK, primero, el divisor de potencia que está en la entrada es el encargado de dirigir la señal hacia los detectores de producto I y Q y al bloque de recuperación de señal portadora, el cual está a cargo de recuperar la señal portadora original que fue transmitida, que debe estar sincronizada tanto en frecuencia como en fase con la señal original.

Luego la señal es demodulada en los detectores de producto, los cuales son los encargados de obtener los bits de datos enviados I y Q. Las salidas de los detectores de producto se dirigen hacia el combinador de bits, donde se convierten de canales paralelos a una sola salida de datos binarios.

Figura 10. Receptor QPSK



Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 489.

1.4.5. Modulación 16-PSK

La modulación por desplazamiento de fase de dieciséis fases, es una técnica de modulación M-aria, en la cual M tiene el valor de dieciséis, esto quiere decir que hay dieciséis posibles fases de salida. Esta técnica de modulación digital agrupa los datos de entrada en grupos de cuatro díbits, comúnmente llamados cuadbíts.

La fase de salida no cambia hasta que 4 bits han entrado al modulador, gracias a esto la velocidad de cambio de salida y el ancho mínimo de banda son iguales a la cuarta parte de la velocidad de bits que entran.

En la modulación 16-PSK, la separación angular entre fases adyacentes es de sólo $22,5^\circ$, esto quiere decir, que una señal 16-PSK puede tener un desplazamiento de fase hasta de $\pm 11,25^\circ$ durante la transmisión, esta misma característica hace que sea muy vulnerable el ruido introducido en el canal de transmisión, por este motivo no es muy utilizada.

1.4.6. Modulación de amplitud en cuadratura QAM

La modulación de amplitud en cuadratura QAM (*quadrature amplitude modulation*) es una técnica de modulación digital y su característica es que la información está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la señal portadora transmitida.

1.4.6.1. Codificación 8-QAM

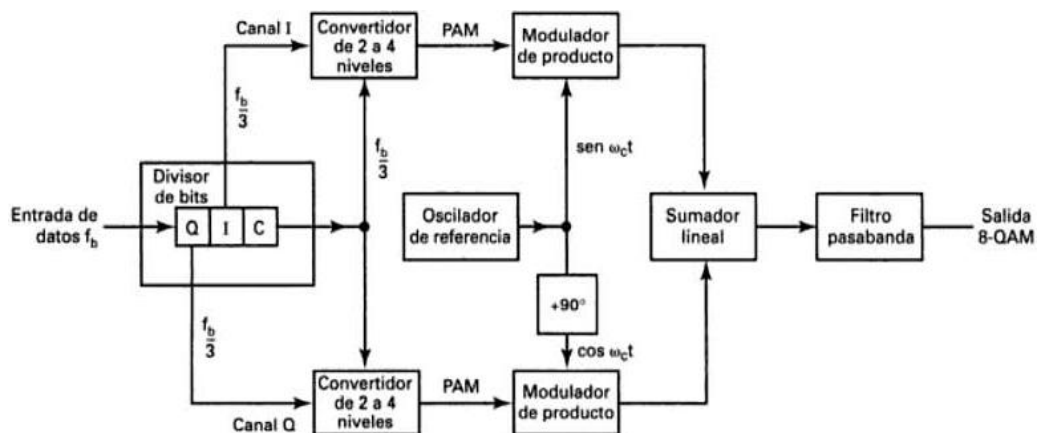
8-QAM es una técnica de codificación M-aria en la que M tiene un valor de ocho, a diferencia de la modulación QPSK, en donde la amplitud de la señal portadora mantiene siempre un valor constante, en la codificación 8-QAM esto cambia, la amplitud de la señal portadora varía tanto en amplitud como en fase.

1.4.6.2. Transmisor 8-QAM

En la figura 11 se puede observar el diagrama en bloques típico de un transmisor 8-QAM. Los datos de entrada se dividen en grupos de tres bits llamados tribits, los canales I, C y Q de bits tienen una rapidez de bits igual a la tercera parte de la rapidez de entrada de datos. Los canales I y Q entran a su respectivo convertidor de 2 a 4 niveles, estos convertidores de nivel no son más que convertidores digitales analógicos (DAC) de entrada paralela.

Con dos bits de entrada son posibles cuatro voltajes de salida, el bit Q o I determinan la polaridad de la señal analógica de salida 1 lógico (+v) y cero lógico (-v), entonces, el bit C determina la magnitud 1 lógico (1,307 V) y cero lógico (0,541 V). De ahí se origina su nombre, convertidor de dos a cuatro niveles, esto quiere decir, que con dos bits se puede ver claramente que existen cuatro posibles combinaciones, con dos polaridades y dos magnitudes.

Figura 11. Transmisor QAM

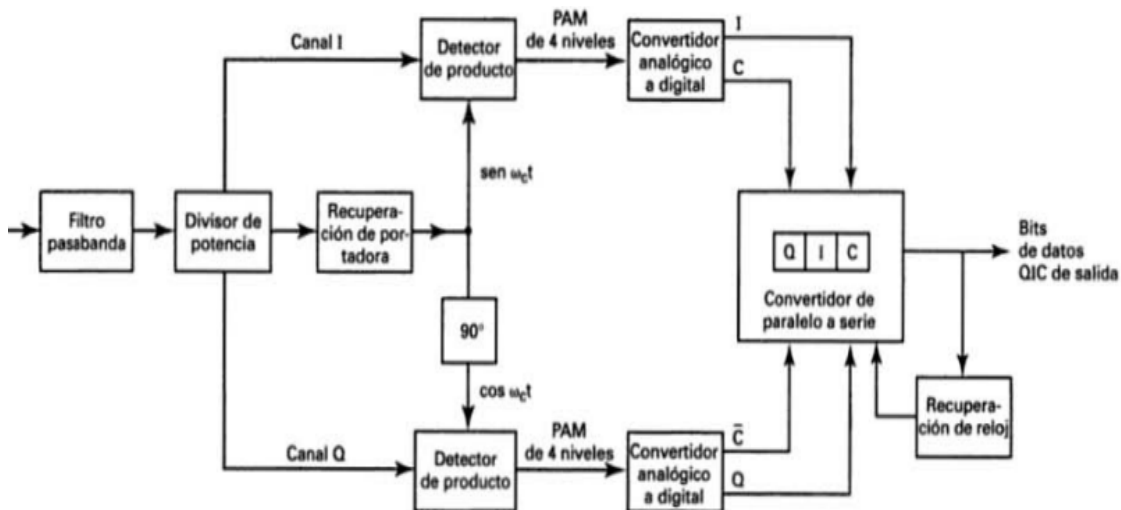


Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas.* p. 498.

1.4.6.3. Receptor 8-QAM

En la figura 12 se puede observar un receptor 8-QAM, el divisor de potencia dirige la señal de entrada a los detectores de producto I y Q, también hacia el circuito recuperador de portadora, este circuito es el encargado de recuperar la señal de portadora original del oscilador de referencia.

Figura 12. Receptor 8-QAM



Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 497.

La señal entrante se mezcla con la portadora recuperada en el detector de producto I y con una señal de portadora en cuadratura en el detector de producto Q. Las salida de los detectores de producto son señales de amplitud de pulso modulado PAM (*pulse amplitude modulation*) de nivel cuatro, los cuales alimentan a los convertidores analógicos digitales ADC (*digital analogic converter*) de nivel cuatro a nivel dos.

Entonces, las señales binarias de salida del convertidor analógico a digital del canal I son los bits I y C y las señales binarias del convertidor analógico a digital del canal Q son los bits Q y C.

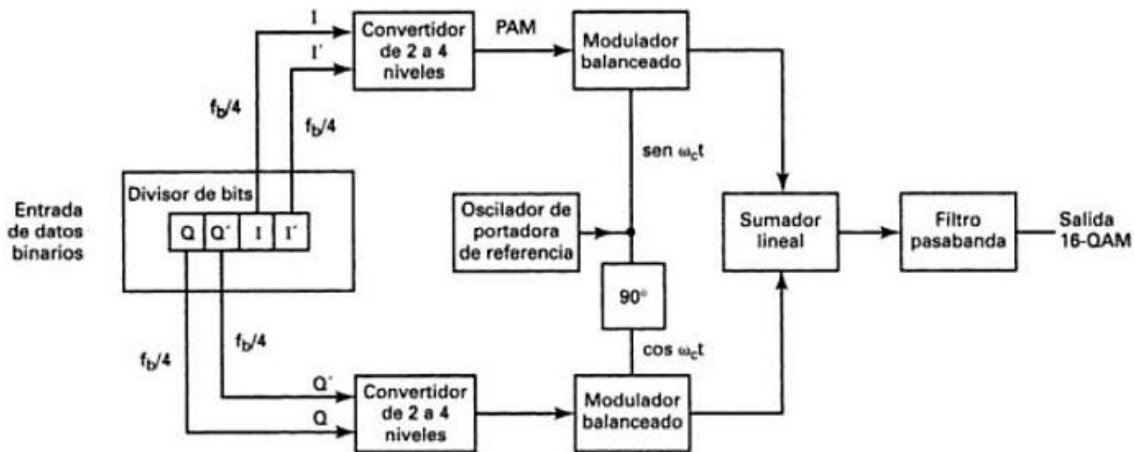
1.4.7. Dieciséis Q-AM

La codificación 16-QAM es un sistema de codificación M-aria en el que M tiene el valor de 16, en este sistema de codificación los datos de entrada se dividen en grupos de cuatro bits. Al igual que en la codificación 8-QAM, se varía tanto la fase como la amplitud de la señal portadora transmitida.

1.4.7.1. Transmisor 16-QAM

En la figura 13 se muestra un diagrama en bloques de un transmisor típico 16-QAM, donde los datos binarios de entrada se dividen en cuatro canales I, I', Q y Q'. La velocidad de bits en cada canal es igual a la cuarta parte de la velocidad de bits de entrada. Se sincronizan cuatro bits en serie en el divisor de bits, luego salen en forma simultánea y en paralelo con los cuatro canales.

Figura 13. Transmisor 16-QAM



Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. p. 500.

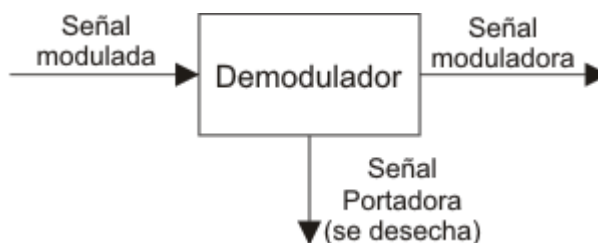
Los bits I y Q son los encargados en determinar la polaridad en la salida de los convertidores de dos a cuatro niveles. Los bits I' y Q' determinan la magnitud. Los convertidores de dos a cuatro niveles generan una señal PAM de cuatro niveles, son posibles dos polaridades y dos magnitudes en la salida de cada convertidor de dos a cuatro niveles.

Las señales PAM modulan las portadoras en fase y en cuadratura en los moduladores de producto. El sumador lineal combina las salidas de los moduladores de producto I y Q y produce las 16 condiciones de salida necesarias para 16-QAM.

1.5. ¿Qué es demodulación?

Demodulación es el término que se utiliza para el conjunto de técnicas que son utilizadas para recuperar la información o señal moduladora, desde una señal portadora transmitida, la cual en el extremo transmisor ha sido modificada en alguna de sus características, ya sea en amplitud, frecuencia o fase, este término es el proceso inverso de la modulación.

Figura 14. **Sistema básico de demodulación**



Fuente: BRICEÑO MÁRQUEZ, José E. *Principio de las comunicaciones*. p. 371.

En cualquier sistema de comunicaciones existirá por lo menos una pareja modulador-demodulador, el diseño del demodulador dependerá de la técnica de modulación que fue utilizada para enviar una señal portadora de información. Con este proceso se obtiene la señal de mensaje, que fue enviada originalmente en el lado transmisor, la demodulación es la encargada de obtener los datos de manera correcta, anteponiéndose a cualquier posible problema o errores en la transmisión causados por interferencia o ruido del canal, para reproducir con exactitud la señal de mensaje transmitida.

1.5.1. Demodulación síncrona

La demodulación síncrona o coherente, consiste simplemente en multiplicar la señal modulada recibida por la portadora, generada localmente, que mediante un filtrado paso-bajo obtiene la señal portadora de información. En este método muchas veces es necesario saber la frecuencia de la señal portadora para que el oscilador local pueda reproducir la señal portadora y en algunos casos también es necesario saber la fase.

Un detalle particular es que, los osciladores de gran precisión pueden mantener la igualdad entre las frecuencias, pero el sincronismo de fase es mucho más difícil de conseguir, particularmente en transmisiones a largas distancias. La información de fase se puede obtener a partir de una portadora piloto superpuesta a la señal modulada que, una vez recuperada mediante el filtrado, puede utilizarse para sincronizar el oscilador local.

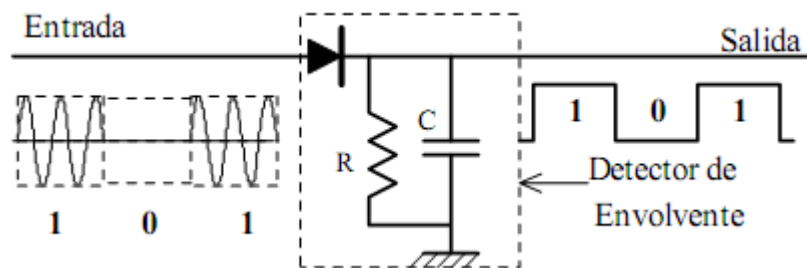
Este proceso sube los costos del sistema, así como, el grado de dificultad, pero, la demodulación síncrona o coherente se utiliza pues es más eficiente ante la presencia de ruido, en comparación con la detección no coherente o de envolvente.

1.5.2. Modulación por detección de envoltente

En la figura 15 se puede observar un circuito sencillo de demodulación por detección de envoltente. Con este sistema demodulador se evitan los problemas de sincronización de fase y de frecuencia de la detección síncrona. Debido a que el sistema de detección de envoltente elimina la fase de la señal, no se puede utilizar en sistemas de modulación de fase.

Como su nombre lo indica, la salida del detector representa la envoltente positiva o negativa según la polaridad del diodo. La constante de tiempo RC deber ser lo suficientemente grande para seguir los picos de la señal modulada en la entrada, pero también debe ser lo suficientemente pequeña comparada con el período de la señal binaria.

Figura 15. Detección de envoltente



Fuente: BRICEÑO MÁRQUEZ, José E. *Principio de las comunicaciones.* p. 373.

1.6. ¿Qué es una red de telefonía celular?

Es un sistema de comunicación formado básicamente por dos componentes: la red de comunicación y el equipo terminal, este último es el encargado de dar acceso a la red. Debido a que la tecnología cambia día con día, las redes de comunicación se han adaptado al cambio de estas nuevas tecnologías que traen con ellas nuevos equipos para mejorar los servicios de la red.

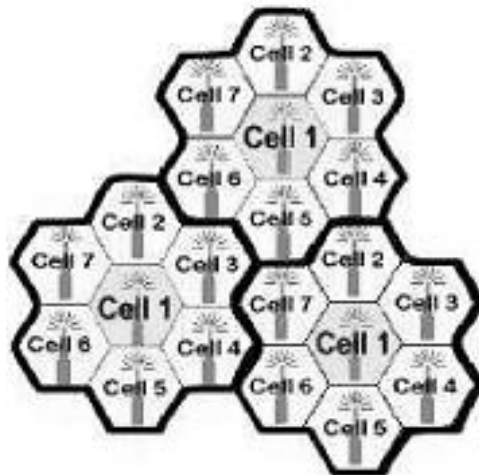
El objetivo de las redes y los proveedores de servicios es ofrecer una amplia variedad de servicios de banda ancha, para un gran mercado de usuarios a través de redes inalámbricas. Este gran número de usuarios causa una escasez en el espectro de radio frecuencias. Para usar el espectro de frecuencias de una manera más eficiente, fueron creados los sistemas de telefonía celular.

Los viejos sistemas de comunicaciones utilizaban un solo transmisor, transmitiendo a niveles de potencia bastante elevados en un canal limitado, por otra parte los sistemas de comunicación celular modernos, utilizan muchos transmisores de baja potencia, esta característica hace capaz al sistema de reutilizar las frecuencias. Para las transmisiones a largas distancias son utilizados repetidores, los cuales regeneran la señal eliminando el ruido para luego retransmitir dicha señal.

Los sistemas celulares tradicionales están diseñados para que las celdas adyacentes utilicen frecuencias distintas, a medida que las celdas se separan la intensidad de la señal no se ve afectada por la interferencia entre celdas.

Se puede ver en la figura 16 un diseño típico de un sistema de reutilización de frecuencias de siete vías, el uso más frecuente de este diseño es en redes GSM.

Figura 16. Sistema de reutilización de frecuencias



Fuente: CHUAH, Mooi Choo; ZHANG, *Qinquing Design and performance of 3G wireless networks and wireless LANS*. p.70.

La celda uno utiliza una frecuencia f_1 y en la celda dos una frecuencia f_2 es transmitida, en este ejemplo cada séptima celda reutiliza una cierta frecuencia, se dice entonces que esta arquitectura tiene un factor de reutilización de frecuencias de siete.

1.6.1. Estación base

La estación base BS (*base station*) también conocida como Nodo-B, tiene una función muy importante, la cual es mantener una interface aire, canal, codificación, relación de adaptación, ensanchamiento, etcétera.

Una estación base también realiza algunas funciones de gestión de radio recursos, como el control de potencia. Su función principal es facilitar la conexión inalámbrica entre un equipo terminal y la red.

1.6.1. RNC

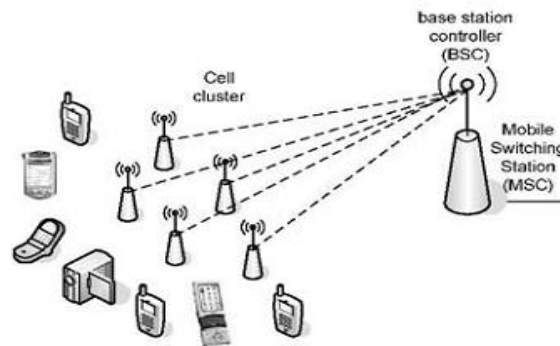
La red de control de radio, RNC (*radio network controller*) es el elemento de la red responsable por el control de los recursos de radio de la red de acceso de radio terrestre UTRAN (*UMTS terrestrial radio access network*).

El RNC es el encargado de controlar la carga y la gestión de sus propias celdas, también es el encargado de ejecutar el control de admisión y asignación de códigos, para los nuevos radio enlaces que se realizarán en estas celdas.

1.6.3. UTRAN

La red de acceso de radio terrestre UTRAN (*UMTS terrestrial radio access network*) está compuesta por varios subsistemas, un subsistema lo forma uno o varios RNC y uno o más Nodos-B que pueden conectarse entre sí. El principal impacto en el diseño de una UTRAN ha sido que las nuevas tecnologías puedan acoplarse suavemente a las ya existentes, como las redes WCDMA y que los equipos terminales puedan estar conectados a la red vía dos o más celdas activas.

Figura 17. Estación base



Fuente: ELS VAN DE KAR, Alexander Verbraeck. *Designing mobile service systems*. p. 69.

2. TELEFONÍA CELULAR 3G

Son dos elementos, telefonía móvil e internet, los que se han instalado en la vida cotidiana durante los últimos años, esto gracias a la movilidad y entramado de las nuevas generaciones de tecnología. Era obvio pensar que el siguiente paso natural fuera su convergencia. Esa es la tendencia del día de hoy y para ello nace la idea de Telefonía Móvil de 3ª Generación (3G). La Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU (international telecommunication union) comenzó en 1985 a especificar los requisitos mínimos que los servicios 3G deberían prestar para ser considerados como tales.

Llamó al conjunto de sistemas que cumplían estos requisitos IMT2000 (international mobile telecommunications 2000) pues, en un principio, fue el 2000 el año señalado para el lanzamiento de los servicios 3G. Durante los últimos años, esta tecnología ha sido objeto de intensa investigación y desarrollo en todo el mundo, donde su lanzamiento es inminente. Motivos comerciales y políticos son los que propician que no haya una sola tecnología unificada para los servicios 3G.

En Europa el sistema 3G es llamado Sistema de Telecomunicaciones Móvil Universal UMTS (universal mobile telecommunication system) y está basado en la técnica de acceso múltiple por división de código de banda ancha WCDMA (*wideband code division multiple access*).

2.1. ¿Qué es la tecnología 3G?

La tercera generación de telefonía celular o comúnmente llamada tecnología 3G es una evolución y mejora de los recursos en medios de comunicación inalámbricos. Esta generación tiene como objetivo lograr un estándar a nivel mundial, capacidad de creación y gestión de servicios personalizados, tasas binarias de interfaz radio en un rango de 144 kbps hasta los 2 Mbps como mínimo, así como soporte para tecnologías multimedia, una integración entre las redes terrestres y de satélites, una mejora significativa en lo que a seguridad se refiere y una calidad de servicio en red móvil comparable con la red de telefonía fija.

Las compañías operadoras están realizando importantes inversiones en despliegue de redes celulares de tercera generación 3G/UMTS. Este esfuerzo es extensivo a los fabricantes de equipos de red que deben afrontar el problema de encontrar especificaciones satisfactorias para los elementos que conformarán los nodos de la red celular.

La producción de la normativa referente a la red móvil de tercera generación desarrollada desde la actual GSM está en manos de la asociación del proyecto de la tercera generación 3GPP (*third generation partnership project*), que agrupa a diferentes organismos de normalización. La normativa del 3GPP se encuentra en un estado de constante evolución y son pocos los aspectos que todavía no han sido aclarados.

Algunas de las organizaciones encargadas de proponer los estándares para las tecnologías 3G son, RACE Investigación de Tecnologías de Comunicación Avanzadas en Europa (research advanced communication technologies in europe), ACTS Tecnologías de Comunicación y Servicio Avanzadas (advanced communication technologies and service), pero no fue hasta que la ETSI Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeas (the european telecommunications standards institute) y ARIB Asociación de Industrias de Radio y Negocios (association of radio industries and businesses) dieron un gran paso adelante cuando seleccionaron la tecnología WCDMA como la interfaz de radio de 3G.

Más adelante el más grande operador de telecomunicaciones japonés, NTT DoCoMo, emitió un enunciado para los más grandes fabricantes de telecomunicaciones móviles para un ensayo del prototipo del sistema WCDMA, lo cual obligó a muchos fabricantes a incrementar sus investigaciones sobre WCDMA.

Desde el mundo de prueba y medida todavía permanecen oscuras cuáles serán las necesidades de los operadores móviles en lo referente a la puesta en servicio y monitorización de la red. No será posible contestar con exactitud estas cuestiones hasta que no se determine ¿Cuáles serán las realizaciones prácticas de la normativa que se está produciendo? Sin embargo, algo puede adelantarse del curso que seguirán los acontecimientos. Todo parece indicar que la sincronización de la red de acceso y su control será uno de los aspectos relevantes.

2.1.1. Despliegue de redes 3G

Lógicamente el despliegue de redes 3G implica el dimensionamiento y aplicación de los elementos correspondientes en una zona geográfica donde un operador le desea ofrecer servicios avanzados de comunicaciones móviles, por ejemplo; la voz de internet móvil, video-telefonía, etcétera. Los principios para dimensionar y aplicar una red 3G se pueden agrupar en cuatro dimensiones claves, las cuales son:

- Cobertura de radio y la identificación de flujo de tráfico
- Dimensionamiento del sistema
- Configuración de red y verificación de la misma
- Aplicación y despliegue

2.1.1.1. Cobertura de radio

En la primera acción, cobertura de radio depende tanto del ambiente de propagación (es decir, áreas de servicio pobladas) como flujo del tráfico previsto. A través de un proceso computarizado y la optimización clásica, la principal salida consiste en la identificación de sitios para la ubicación de estaciones base BS (*base station*) o Nodo-B. Esto dependerá de la estrategia de servicio proyectada y la capacidad de alcance del nodo base.

En la estrategia de servicio se tendrá en cuenta el flujo de tráfico generado, basado en los perfiles de niveles de utilización de los servicios y las densidades de población en el área. La tarea de cobertura de radio incluirá el uso de modelos de canal multiruta (multi-path).

2.1.1.2. Dimensionamiento del sistema

El dimensionamiento del sistema implica la optimización de cobertura y capacidad basada en macroceldas y microceldas en áreas densamente pobladas. Su objetivo es tener la asimetría del tráfico entre el enlace de subida UL (*uplink*) y el enlace de bajada DL (*downlink*) e incluye la optimización del modo división de tiempo dúplex TDD (*time division duplex*), para maximizar la capacidad y flexibilidad en micro y picoceldas.

2.1.1.3. Configuración de red y verificación

La configuración de red y verificación, consolida la cobertura y el ejercicio de ubicación del sitio de partida de un proceso para la solución integrada de radio y elementos del núcleo. Basado en la capacidad y los requerimientos necesarios, el sistema de arquitectura 3G es establecido para los nodos, BS, CS y elementos PS en el lado de la red básica, también examina el impacto en el subsistema de transmisión.

2.1.1.4. Aplicación y despliegue

Aplicación y despliegue completan el proceso de diseño de la red 3G realizando la localización de lugares previstos, los requisitos del servicio de destino y el tiempo de servicio. Tiene en cuenta la solución adoptada para el despliegue de la red, por ejemplo, sitios para compartir con existentes nodos bases 2G y evolución de elementos CN, o una completamente nueva red sobre puesta en la parte superior de un sistema 2G ya existente.

También se puede aplicar a una red de campo totalmente verde, es decir un despliegue nuevo sin adaptarse a tecnologías anteriores, también se tomara en cuenta la jerarquía de la red.

Cuando se despliega la red en el modo FDD o con la tecnología WCDMA, la aplicación tendrá en cuenta la dependencia de la cobertura en las tasas de transmisión y disponibilidad de tecnologías en términos de configuración de antenas y reducir al mínimo la interferencia característica. Como se puede observar los cuatro pasos para dimensionar y aplicar una red 3G detallados anteriormente tienen un proceso repetitivo.

2.1.2. Servicios 3G

Una red de telecomunicaciones modernas como lo es la UMTS puede brindar una gran variedad de servicios, los conceptos y definiciones de los servicios de una red UMTS en su mayor parte son tomados del mundo GSM, pero mientras que los parámetros para los servicios GSM ya han sido fijados, en UMTS pueden ser dinámicamente renegociados cuando sea necesario. Los servicios brindados por UMTS pueden dividirse en cuatro clases principalmente.

- Teleservicios
- Servicios portadores
- Servicios complementarios
- Capacidades de servicio (asesoría de servicios de valor agregado)

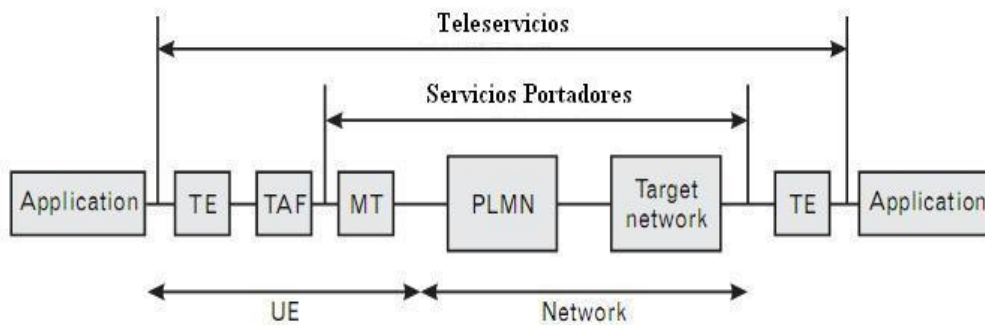
2.1.2.1. Teleservicios

Los teleservicios son un tipo de servicios de telecomunicaciones que proporcionan la completa capacidad extremo a extremo para la comunicación entre usuarios móviles de acuerdo con los protocolos estandarizados.

El usuario no tiene responsabilidad directa en el punto final de las aplicaciones en teleservicios, al recibir un correo electrónico de un teléfono GSM conectado a una computadora portátil (un servicio portador) con una simple conversación de teléfono GSM (un teleservicio), el teleservicio puede hacer uso del protocolo del modelo OSI (a excepción del protocolo de capas entre ellos) y también incluyen las funciones de los equipos terminales.

La diferencia entre los teleservicios y los servicios portadores se muestra en la figura 18, los teleservicios utilizan los servicios portadores proporcionados por las capas inferiores (excepto para los circuitos conmutados de servicios de voz).

Figura 18. **Servicios básicos en telecomunicaciones**



Fuente: KORHONEN, Juha. *Introduction to 3G mobile communications*. p. 396.

- TE = equipos terminales (*terminal equipment*).
- TAF = función de adaptación de terminales (*terminal adaption function*).
- MT = terminación móvil (*mobile termination*).
- UE = equipo de usuario (*user equipment*).

Algunos teleservicios necesitan ser estandarizados para que puedan funcionar con teleservicios proporcionados por otras redes, otros son utilizados en una sola red por lo que no se necesita una normalización de red interna. La siguiente es una lista de teleservicios individuales:

- Telefonía
- Llamadas de emergencia
- Mensajes cortos móviles terminados/ punto a punto
- Mensajes cortos móviles originados/ punto a punto
- Servicio de llamada de voz en grupo
- Acceso a internet

En esta lista sólo se mencionan algunos de los teleservicios con los que se empezará, pero no cabe duda que nuevos teleservicios serán desarrollados según sean necesarios, no todos los teleservicios serán aplicados en la fase uno de UMTS, cuando inició la tecnología GSM sólo contaba con servicios de voz, servicio de mensajes cortos (SMS) y llamadas de emergencia.

2.1.2.2. Servicios portadores

Servicios portadores, son servicios básicos en las telecomunicaciones, que ofrecen la capacidad de transmisión pura de señales entre puntos de acceso. Estos servicios pueden ser circuitos conmutados (CS) paquetes conmutados (PS), los servicios portadores sólo están formados por las tres capas inferiores del modelo OSI, las cuales son; capa física, capa de enlace de datos y capa de red.

Un servicio portador se define mediante un conjunto de características que lo hacen diferente a todos los otros servicios portadores, estas características que lo definen como servicio portador son tales como el tipo de tráfico, las características del tráfico y las tasas de transferencia soportadas. Lo que hace tan diferente a UMTS a otros sistemas de telecomunicaciones móviles es que permite la negociación de los parámetros entre aplicación y red.

Los servicios portadores fueron fijados en las redes móviles 2G, el servicio portador seleccionado se asignó cuando la conexión se estableció y se mantuvo sin cambios: existe una rutina de negociación en UMTS cuando la aplicación solicita un servicio portador seguro y la red verifica los servicios disponibles y a continuación se concede el servicio solicitado o sugiere un nivel de servicio menor. La aplicación del lado del usuario acepta o rechaza la sugerencia de la red, también es posible negociar las propiedades de un servicio portador durante una conexión activa en UMTS, esta propiedad hace a un servicio portador UMTS más flexible y permite que los servicios de red sean mejor utilizados.

Las capacidades de la transferencia de red se caracterizan mediante las siguientes variables:

- Tipo de tráfico
- Tasa de bits constante (*constant bit rate CBR*)
- Tasa de bits dinámicamente variables (*dynamically variable bit rate VBR*)
- Punto a multipunto (*multicast/broadcast*)

La calidad de la información está caracterizada de acuerdo con los siguientes parámetros: retardo de máxima transferencia, variación de retardo, relación de error de bit BER (*bit error ratio*), velocidad de datos, la variación de retardo puede ser un problema especialmente en el modo conmutación de paquetes, esto significa que los paquetes llegan en diferentes intervalos de tiempo, esto se puede arreglar de una manera sencilla en el lado receptor usando memoria, pero, esto aumenta el retraso general.

Estos retrasos son producidos cuando un paquete viaja por distintos nodos para llegar desde la fuente hacia el destino, algunos de estos retardos son originados por: retardos de propagación, por taponamiento en un puerto de entrada o salida, retraso serial, retraso de conmutación, este componente incrementa dependiendo del número de nodos en la red.

El retardo de envío de cada paquete puede variar ya que depende de la prioridad que tenga el paquete y cuando existen paquetes con la misma dirección de destino pueden tomar distintas rutas y tiempos para ser enviado.

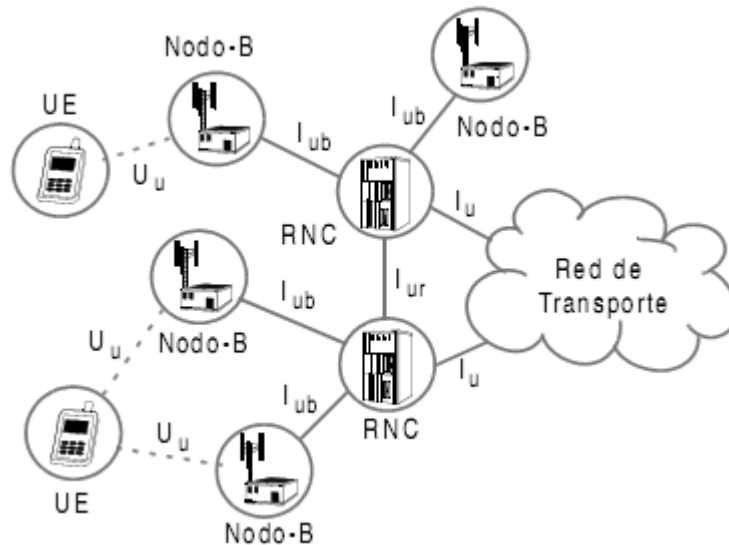
2.2. Redes digitales UMTS

Al ser UMTS producto de la evolución de la red de segunda generación GSM, muchos de sus elementos y características son comunes. La red UMTS se compone de un subdominio de acceso y otro de transporte, el subdominio de acceso conecta a los usuarios con la red de transporte y desde la red de transporte se realiza la conexión de la red móvil a redes fijas y la gestión de todo el sistema.

La red de transporte es compartida con la ya existente en los sistemas GSM y GPRS y es en el subdominio de acceso en el que se registran las novedades más importantes.

En la normativa del 3GPP se definen las funciones, interfaces y protocolos de cada una de las partes que forman la red de acceso. La realización del subdominio de acceso de la red UMTS es la denominada UTRAN, red de acceso de radio terrestre UMTS (*UMTS terrestrial radio access network*). La UTRAN se compone de dos elementos, el Nodo-B y el RNC.

Figura 19. **Red digital UMTS**



Fuente: KORHONEN, Juha. *Introduction to 3G mobile communications*. p. 206.

El Nodo-B de UMTS es similar a la BTS de GSM, una de las diversidades es la posibilidad de macrodiversidad que permite a un mismo UE ser servido desde más de un Nodo-B simultáneamente.

El RNC es uno de los elementos claves de la UTRAN, ya que conecta a los Nodos-B al subdominio de transporte. Desde el RNC se controlan los recursos lógicos hacia el Nodo-B, además el RNC gestiona individualmente la conexión con cada UE. De esta forma desde este elemento se realizan las funciones de control de admisión, control de potencia, control de macrodiversidad y entrega (*handover*) para cada UE. El equipo de usuario también llamado equipo terminal UE, es el equipo que el usuario trae consigo para lograr la comunicación con una estación base en el momento que lo desee y en el lugar donde exista cobertura (teléfono celular).

La conexión entre los elementos de la UTRAN se caracteriza por la flexibilidad, por ejemplo; la conexión de Nodos-B y RNCs (interfaz Iub) y RNC's entre sí (interfaz Iur) se admiten tanto conexión SDH como PDH. La conexión radio con los UEs se realiza por medio de interfaz Uu. Para la interfaz de radio con modalidades basadas en multiplicación en el tiempo como en frecuencia también son admitidas. Sin embargo, lo que destaca siempre es la presencia de CDMA, TDMA o FDMA dando lugar principalmente a dos tipos de modalidades FDD y TDD.

La conexión de la UTRAN a la red de transporte se realiza por medio de la interfaz Iur, la característica principal de esta interfaz es que admite interactuar tanto con circuitos como con conexiones basadas en paquetes.

2.2.1. Sincronización de la UTRAN

La mayor parte de los aspectos relevantes en la sincronización de la UTRAN se discuten en la Norma TS-25.402. Los aspectos tratados ahí son, fundamentalmente:

- Sincronización de la red, distribución de las señales de sincronización por la UTRAN y su integración en las redes conectadas.
- Sincronización de nodo o discusión de las características y límites en las señales de sincronización de Nodos-B entre sí o Nodos-B y RNCs.

- Sincronización del canal de transporte, necesaria para garantizar el transporte de tramas entre el RNC y los Nodos-b.
- Sincronización de la interfaz de radio entre los Nodos-B y el UE.
- Gestión del alineamiento temporal entre la UTRAN y la red de transporte.

Un adecuado control sobre la sincronización de red y de nodo es fundamental para el correcto funcionamiento en todos los demás nodos, debido a que los nodos deben ser capaces de poder comunicarse con cualquier nodo.

2.2.2. Sincronización de red

Como se explicó anteriormente el concepto de la sincronización de la red está relacionado con la especificación de las técnicas de distribución de sincronismo y de los requerimientos de calidad necesarios en los nodos que componen la UTRAN.

Puesto que la capa física de transmisión en las conexiones Nodo-B/RNC y RNC/RNC, están basadas en diferentes jerarquías digitales SDH, SONET, PDH, las estrategias de sincronización son esencialmente equivalentes a la utilizadas en todas las redes de este tipo. Se recomienda que la fuente de sincronización disponible en cada uno de los Nodos-B tenga una estabilidad mejor de 0,05 ppm para garantizar una calidad adecuada en las señales de la interfaz radio.

Para cumplir con estos objetivos de sincronización se recomienda la disponibilidad de una fuente de sincronización obtenida desde un reloj de calidad remoto.

Para asegurar la calidad de la fuente de la UTRAN en todo momento, será necesaria la redundancia en las entradas de sincronismo disponibles. Se combinarán receptores GPS con señales de sincronización transportadas en enlaces PDH o SDH desde un PRC.

2.2.3. Sincronización de nodo

El concepto de sincronización de nodo hace referencia al conjunto de técnicas relacionadas con la estimación y compensación de diferencias de sincronización en las distintas partes de la UTRAN y se define para minimizar la interferencia entre Nodos-B.

Una característica importante de la sincronización de nodos es que los requerimientos para la UTRAN difieren de los modos FDD y TDD. Esto es así porque en el modo FDD se utilizan frecuencias diferentes para el radioenlace de transmisión y recepción, pero en TDD ambos radioenlaces comparten la misma frecuencia. En el modo TDD es necesaria la sincronización entre celdas y por ello las diferencias de temporización admitidas son más restrictivas que con el modo FDD.

2.2.4. Sincronización RNC/Nodo-B

La sincronización RNC/Nodo-B funciona a nivel de protocolos en el plano de usuario y trata de mantener la frecuencia del Nodo-B enganchada a la de la RNC cuando por algún motivo existe algún tipo de compensación (*offset*) entre los nodos, para ello, se basa en la información de latencia que calcula el propio sistema.

La calidad del mecanismo de compensación de frecuencia puede verse comprometida por la presencia de *wander* (vagar) causado por variaciones cíclicas de temperatura que afectan el retardo de la señal al atravesar el medio de transmisión. Esto quiere decir que con la caracterización de la fuente de sincronización en términos del error máximo de intervalo de tiempo MTIE (*maximum time interval error*), resultará de gran importancia para el funcionamiento correcto del algoritmo de compensación de frecuencia.

2.2.5. Sincronización Nodo-B/Nodo-B

La sincronización entre Nodos-B es especialmente crítica en sistemas TDD. En el caso de sistemas FDD es suficiente el uso del protocolo de sincronización RNC/Nodo-B. En sistemas TDD deberá utilizarse un puerto de sincronización especial en los equipos.

2.3. Arquitectura de seguridad en UMTS

Las expectativas que las redes UMTS están generando entre los operadores de redes móviles nuevos servicios para los usuarios en un escenario donde muchos proveedores están apostando por redes IP para su red fija, al tener la posibilidad de disponer de una red móvil también basada en IP, esto se podrá hacer en un futuro no muy lejano donde las redes UMTS y redes IP externas puedan compartir recursos.

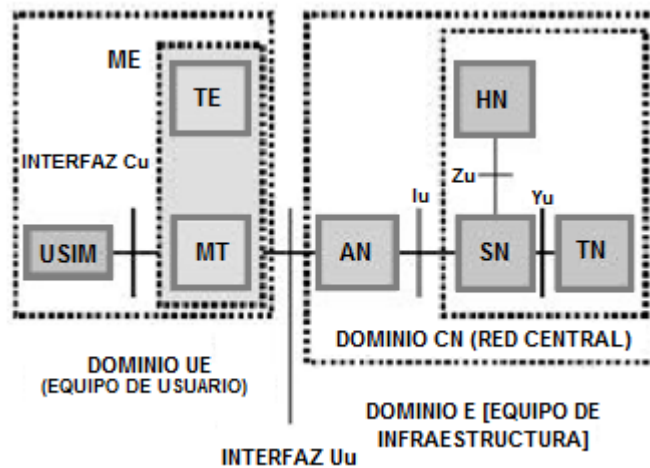
El amplio mercado de servicios móviles que UMTS puede brindar, ha generado un crecimiento de expectativas en este nuevo enfoque de comunicaciones celulares, pero no se debe olvidar del factor seguridad que se debe tomar en cuenta desde la evolución de las tecnologías 2G.

La arquitectura general de UMTS se puede definir utilizando un modelo de dominios, capas y puntos de referencia. Un dominio es una agrupación de nodos físicos. Los puntos de referencia se definen entre pares de dominios. Por último, una capa o nivel es la agrupación de protocolos relacionados con un aspecto de los servicios y lo proporciona normalmente alguna funcionalidad de uno o varios dominios.

La arquitectura UMTS se puede dividir en dos dominios: UE (*user equipment*) equipo de usuario y IE (*infrastructure equipment*) equipo de infraestructura.

Esta primera subdivisión establece la diferencia entre UE que normalmente está dentro de las premisas de los usuarios finales y el IE que opera para beneficio de un colectivo de usuarios.

Figura 20. **Arquitectura UMTS**



Fuente: KORHONEN, Juha. *Introduction to 3G mobile communications*. p. 225.

El dominio UE se subdivide en el dominio ME (*mobile equipment*) equipo móvil y dominio USIM (*user services identity modules*) módulo de identidad de servicios de usuario. El dominio USIM tiene la funcionalidad de ser utilizada para acceder a los servicios UMTS de una cierta red doméstica.

El USIM es una aplicación que puede residir en una tarjeta inteligente removible o estar de forma integrada en el equipo móvil que puede contener otras aplicaciones. El USIM tiene datos y procedimientos que le identifican de forma segura.

La arquitectura de seguridad UMTS/3G define las clases de características de seguridad como el acceso a la red, dominio de red, dominio de usuario, dominio de aplicación las cuales se detallan a continuación:

- Seguridad de acceso a la red, es el conjunto de características de seguridad que proporciona a los usuarios un acceso seguro a los servicios 3G y en particular protege contra ataques al enlace de acceso vía radio.
- Seguridad del dominio de red, es el conjunto de características de seguridad que permite a los nodos del dominio del proveedor intercambiar de forma segura datos de señalización y protege contra ataques en la red fija de naturaleza alámbrica.
- Seguridad del dominio de usuario, es el conjunto de características de seguridad que hacen seguro el acceso a la estación móvil (teléfono móvil 3G).
- Seguridad del dominio de aplicación, es el conjunto de características de seguridad que permiten a las aplicaciones del dominio de usuario y del dominio de proveedor intercambiar mensajes de forma segura.

Algo que no puede dejar sin mencionarse son las tres capas principales de la arquitectura de seguridad de la UMTS que son las tres capas inferiores del modelo OSI.

- Capa de transporte, es la capa inferior y contiene MT (*mobile termination*), AN (*access network*) y SN (*serving network*).
- Capa doméstica/Capa de servicios es la intermedia y contiene TE (*terminal equipment*), USIM (*user services identity module*), SN (*serving network*) y HE (*home environment*).
- Capa de aplicación es la superior y contiene las aplicaciones del usuario y las aplicaciones del proveedor.

2.3.1. Seguridad de acceso a la red

La seguridad de acceso a la red está compuesta principalmente por los parámetros como la confidencialidad de datos para proteger la privacidad de clientes y cifrado de red para proteger el acceso a la red.

2.3.2. Confidencialidad de los datos

Al igual que en GSM, en UMTS la confidencialidad de los datos se aplicará a los datos de usuario y a los datos de señalización transmitidos a través del enlace de acceso por radio.

Para realizar eso, se implementará un cifrador de flujo en cada extremo del enlace de acceso. Comparado con GSM, el cifrado UMTS terminará en la red y se aplicará a un nivel superior. La longitud de clave de UMTS es mayor que la de GSM.

2.3.3. Cifrado de red

La otra característica nueva de acceso a red de UMTS/3G es el cifrado de red. Es una extensión de esta característica de seguridad que proporciona un modo protegido de transmisión a los canales de tráfico de usuario a través de toda la red.

De este modo proporciona a los usuarios garantía de que sus datos de usuario se encuentren protegidos contra escuchas clandestinas en todos los enlaces de la red, es decir, no sólo en los enlaces de radio particularmente vulnerables de la red de acceso, sino también en los enlaces fijos dentro de la red central.

Esta característica se incluye en la categoría de características de seguridad del nivel de aplicación, funcionalidad muy importante para proteger la privacidad y seguridad de los clientes así como la de administradores de red.

Sin embargo, el mecanismo reutiliza el cifrado para la seguridad de acceso a la red y debería considerarse una característica de seguridad de acceso a red, aunque su objetivo con respecto a la confidencialidad de los datos (enlace de acceso) sea primariamente proteger los datos de usuario cuando se transmiten a través de las conexiones de la red central.

2.4. Tecnología WCDMA

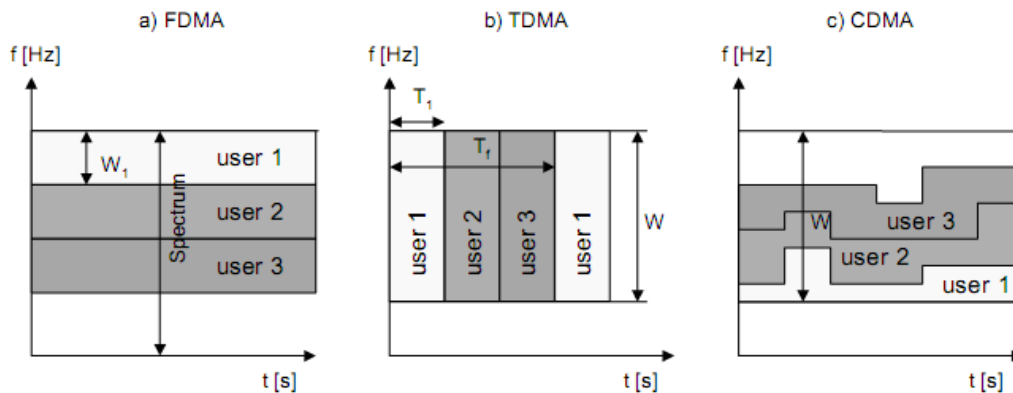
Una celda en una red de telefonía celular podría ser vista como un sistema de comunicación multiusuario, en el que un gran número de usuarios comparten recursos físicos comunes para transmitir y recibir información. El recurso de la celda es una banda de frecuencias en el aspecto radioeléctrico. Existen diferentes técnicas de acceso en las que varios usuarios pueden enviar la información a través de un canal común hacia el receptor.

Los usuarios podrán subdividir el espectro disponible en un número N , de subcanales sin traslape o ligeramente traslapados. El método se llama acceso múltiple por división de frecuencia, FDMA (*frequency division multiple access*), otro método para crear subcanales múltiples es para dividir la duración del período del tiempo T_f en un número de subintervalos no traslapados, cada uno de duración T_f / N , este método se llama acceso múltiple por división de tiempo TDMA (*time division multiple access*). En FDMA y TDMA el canal común es dividido en un subcanal ortogonal de un solo usuario. El problema surge si los datos de los usuarios que acceden a la red son ráfagas en la naturaleza.

El único usuario que ha reservado el canal puede transmitir datos de manera irregular, de modo que en los períodos de silencio pueden ser más largos que los períodos de transmisión. Por ejemplo, una señal de un discurso puede contener pausas largas.

En tales casos TDMA y FDMA tienden a ser un poco ineficientes debido a una cierta porción de la frecuencia o de las ranuras del tiempo, que fueron asignadas para el usuario no para información. Un ineficiente diseño de un sistema de acceso múltiple limita el número de usuarios simultáneos en un canal de comunicación común. Una manera de superar este problema es permitir a más de un usuario compartir el canal o subcanal con el uso de señales de acceso ensanchado. En este método a cada usuario se le asignará una secuencia de código única o una secuencia de firma lo cual le permite a las señales del usuario ser repartidas en un canal común.

Figura 21. **Esquemas de acceso múltiple**



Fuente: LAIHO, Jaana; WACKER Achim. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. p. 20.

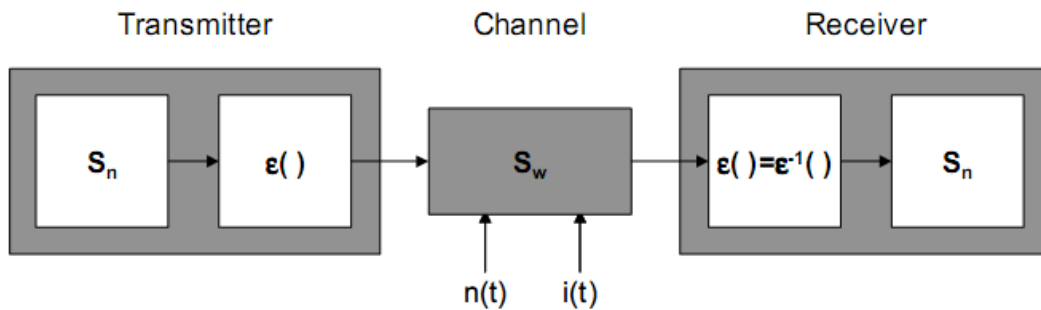
En la recepción, las señales de los usuarios son separadas con correlación cruzada (*crosscorrelating*), cada señal recibida con cada posible secuencia de firma.

Diseñando estas secuencias de código con relativamente una pequeña correlación cruzada, el cruce de conversaciones en la demodulación de señales recibidas de múltiples transmisores es minimizado. Este método de acceso múltiple es llamado acceso múltiple por división de código CDMA (*code division multiple access*).

2.4.1. Modulación de espectro ancho

Formalmente, la función del transmisor y del receptor se puede dividir en dos pasos. En el transmisor, el primer paso es la modulación en el que la señal de banda estrecha S_n que ocupa la banda de frecuencias W_i , es formada. En el proceso de modulación, secuencias de bits de longitud n se asignan a $2n$ diferentes símbolos que constituyen la banda estrecha de la señal de banda estrecha S_n .

Figura 22. Concepto del sistema de espectro ancho



Fuente: LAIHO, Jaana; WACKER Achim. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. p. 20.

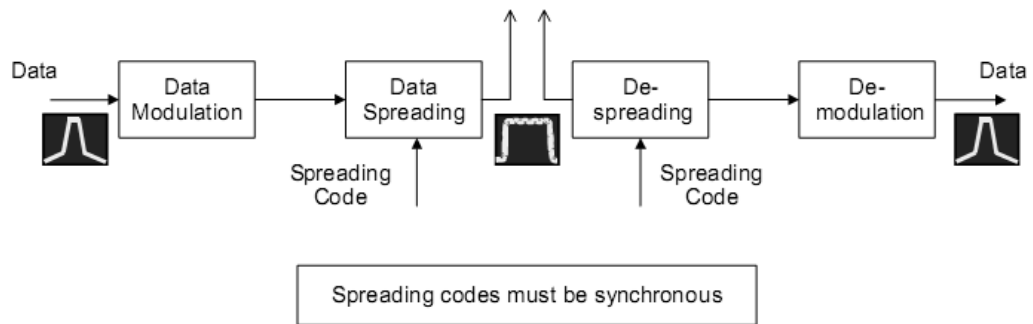
En el segundo paso la señal ensanchada es enviada y donde la señal de banda estrecha S_n se extiende en una amplia banda de frecuencias W_c . La señal ancha es denotada como S_w y la función de propagación se expresa como $\epsilon(\cdot)$.

En el lado del receptor el primer paso es hacer el proceso inverso estrechar la señal, que puede ser formalmente presentado como el inverso de la función $\epsilon^{-1}(\cdot) = \epsilon(\cdot)$. En este paso la señal de banda ancha S_w , es convertida nuevamente a una señal de banda estrecha S_n , la cual puede ser demodulada usando los esquemas estándar para demodulación digital.

Note que la naturaleza de la operación de ensanchamiento y estrechamiento es la misma y se podría haber realizado por modulación de bits de datos del usuario mediante la propagación de la secuencia de bits.

La razón principal de este proceso de transmisión es para permitir el acceso múltiple por división de código CDMA, pero, debido al ensanchamiento de la señal y el resultante ancho de banda ampliado, las señales de espectro ancho tienen otras propiedades muy interesantes que las diferencian de las señales de banda estrecha. El concepto básico de la modulación de espectro ancho se muestra en la figura 23.

Figura 23. **Secuencia directa del concepto de espectro ancho**

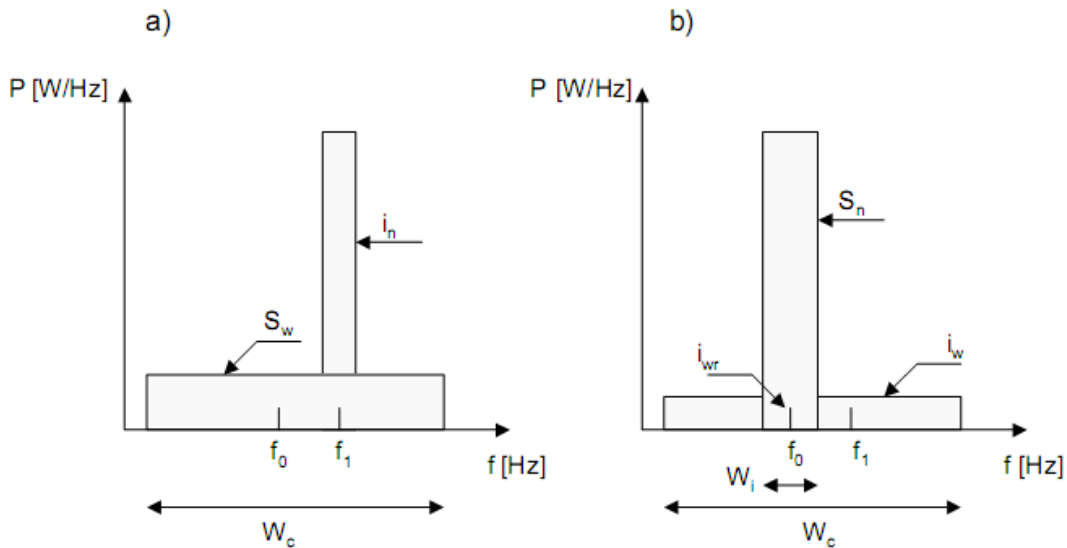


Fuente: LAIHO, Jaana; WACKER Achim. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. p. 21.

2.4.2. Tolerancia de interferencia en banda estrecha

Un sistema de espectro ancho es tolerante a la interferencia de banda estrecha, en la figura 24 se muestra una señal de banda ancha con interferencia de banda estrecha.

Figura 24. **Proceso de estrechamiento en presencia de interferencia**



Fuente: LAIHO, Jaana; WACKER Achim. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. p. 21.

Suponiendo que una señal de banda ancha S_w es recibida en presencia de una señal de interferencia de banda estrecha i_n , véase la figura 24 (a) y (b), el proceso de estrechamiento puede ser representado de la siguiente manera:

$$\varepsilon^{-1}(S_w + i_n) = \varepsilon^{-1}[\varepsilon(S_n)] + \varepsilon^{-1}(i_n) = S_n + i_w$$

El proceso de estrechamiento convierte la señal de entrada en una suma de lo útil de la señal de banda estrecha y la señal de interferencia de banda ancha. Después del estrechamiento la operación de filtro de banda estrecha (Operación F ()) es aplicada con un filtro pasa-banda, con un ancho de banda B_n igual al ancho de banda W_i de S_n .

Esto resulta en:

$$F(S_n + i_w) = S_n + F(i_w) = S_n + i_{wr}$$

Solo una pequeña porción de energía de la señal de interferencia pasa el filtro y se queda como una interferencia residual, porque el ancho de banda w_c de i_w es mucho más largo que W_i como se puede ver en la figura 24 (b). La relación entre el ancho de banda de modulación transmitido y el ancho de banda de la señal de información se denomina ganancia de procesamiento G_p .

$$G_p = \frac{W_c}{W_i}$$

Para evitar cualquier filtro o propiedades específicas de modulación, desde este punto se iguala W_c Y W_i a la tasa de chip y a la tasa de datos del usuario, respectivamente.

Considerando el sistema sin corrección de errores de codificación, en este caso la ganancia definida anteriormente es dada sólo por la operación de espectro-ensanchado (es decir, está en escala lineal proporcional al número de veces que el espectro se ha ampliado). Esta ganancia tiene fuertes propiedades de atenuación en interferencias de banda estrecha.

Es importante mencionar que la “ganancia de procesamiento” utilizada por la 3GPP también podría ser definida por la ecuación de ganancia (G_p), pero debido a la inclusión adicional de un procesamiento de la señal (control de codificación de error), la ganancia de procesamiento resultante está compuesta por la parte de ensanchamiento y la parte codificación.

En la figura 24 el efecto de la ganancia de procesamiento se puede ver claramente ya que cuando el sistema posee más ganancia de procesamiento se pueden atenuar más las señales de interferencia en el proceso de estrechamiento.

Por lo tanto, la ganancia de procesamiento puede ser vista como un factor de mejora en la relación señal a interferencia SIR (*signal to interference ratio*) de la señal después del proceso de estrechamiento.

Hay una compensación determinada en el valor del ancho de banda transmitido W_c . Para una gran ganancia de procesamiento se da una mayor atenuación de interferencias, cuando es necesitada una amplia transmisión de ancho de banda. En el sistema WCDMA el valor de W_c es de 3,84 Mcps, que a causa de los lóbulos laterales en el espectro, resulta en una señal portadora de 5 MHz.

2.4.3. Secuencia directa del sistema de espectro ancho

Hay una serie de técnicas para difundir la señal de información mediante el uso de señales de código, los ejemplos son de secuencia directa, salto en frecuencia y tiempo, técnicas de espectro ensanchado. También es posible combinar estas técnicas en lo que se conoce como métodos híbridos.

La técnica más común utilizada en las redes de radio celular es la secuencia directa de espectro ensanchado DS-SS (*direct sequence spread spectrum*). Esta técnica se utiliza en las tecnologías WCDMA y en el estándar IS-95.

En los sistemas DS-SS, el ensanchamiento de la señal se consigue mediante la modulación de los datos-modulados de la señal una segunda ocasión por una señal de ancho de banda ensanchada. La señal se tiene que aproximar estrechamente a una señal aleatoria con distribución uniforme de los símbolos. Representaciones típicas de estas señales son *Pseudonoise* (PN) secuencias sobre un alfabeto finito.

Dado que en un sistema WCDMA se tiene que aprovechar al máximo la capacidad del sistema durante el proceso de ensanchamiento de la señal. La señal del usuario es ensanchada primero por el código de canalización, que es también llamado factor de ensanchamiento variable ortogonal, OVSF (*orthogonal variable spreading factor*) su construcción está basada en la matriz *Hadamard*.

El código del factor de ensanchamiento variable ortogonal posee la propiedad de que dos códigos distintos de la misma familia estén perfectamente ortogonales si están en fase.

Por lo tanto su uso garantiza la máxima capacidad, medida por el número de usuarios activos. Ahora todas las señales de los usuarios están codificadas por una secuencia específica de codificación, que tiene las propiedades estadísticas de una secuencia aleatoria.

Entonces el sistema puede acomodar el número máximo de usuarios y la señal de salida tiene un espectro bastante plano, sin picos espectrales dominantes.

2.4.4. Ejemplo de modulación

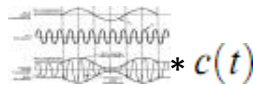
La forma más simple del espectro ensanchado por secuencia directa por sus siglas en inglés DS-SS emplea modulación por desplazamiento de fase binaria BPSK (*binary phase shift keying*) en la modulación ensanchada. Matemáticamente esto puede ser representado como la multiplicación de la portadora por la función $c(t)$ que toma el valor de +1 y -1.

Al considerar una portadora de dato modulado, donde:

Potencia	⇒	P
Frecuencia	⇒	ω_0
Fase de modulación	⇒	$\theta_d(t)$

$$S_n(t) = \sqrt{2 \cdot P} \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \theta_d(t)]$$

El ensanchamiento BPSK se realiza mediante la multiplicación de dos factores, representando la señal ensanchada.

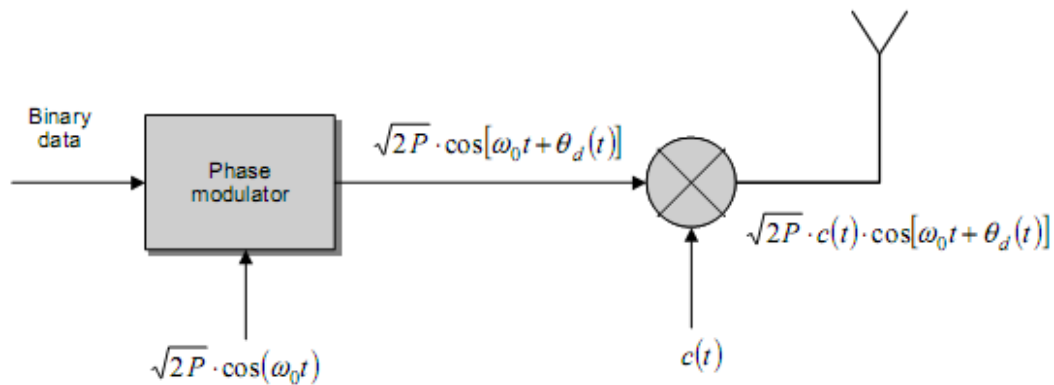


El resultado de la multiplicación en banda ancha es:

$$S_w(t) = \sqrt{2 \cdot P} \cdot c(t) \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \theta_d(t)]$$

La modulación de datos no tiene que ser BPSK, no hay restricciones impuestas a la forma $\theta_d(t)$. Pero es común usar la misma modulación digital de fase para el dato y el código ensanchado.

Figura 25. Transmisor BPSK DS-SS

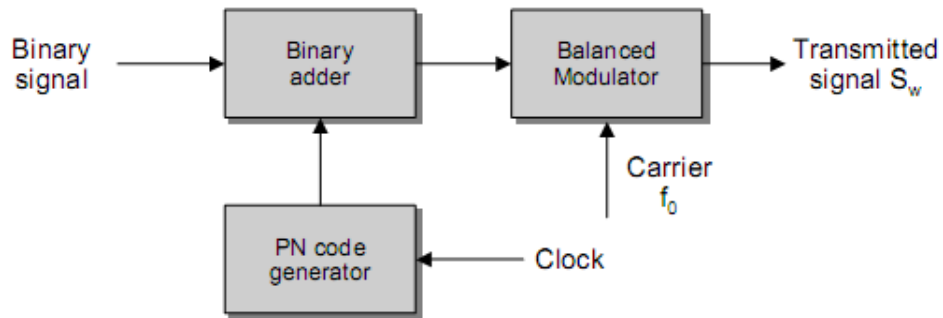


Fuente: LAIHO, Jaana; WACKER Achim. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. p. 23.

Cuando BPSK se usa para ambos, el proceso de doble modulación es remplazado por una sola modulación, una con la suma de datos en módulo 2, el ensanchamiento de código se muestra en la figura 26.

La señal de banda ancha es transmitida a través de un canal teniendo un retardo de tiempo T_d . La señal es recibida junto con la interferencia y el siempre presente ruido blanco gaussiano AWGN (*additive white gaussian noise*).

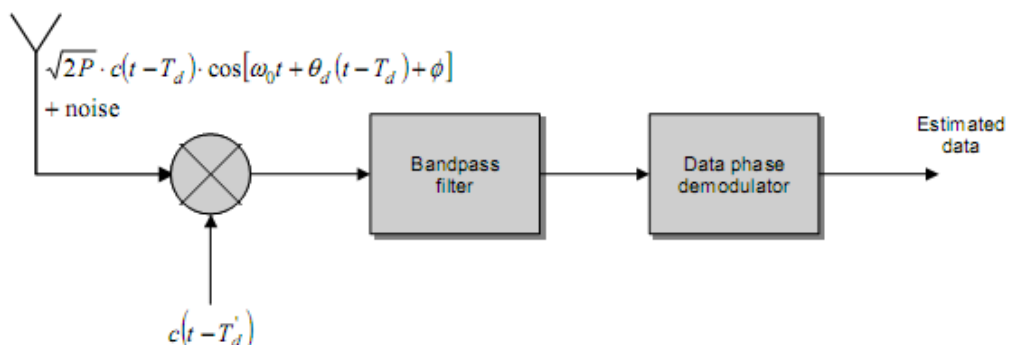
Figura 26. **Secuencia directa de transmisión de datos con BPSK y operación de ensanchado**



Fuente: LAIHO, Jaana; WACKER Achim. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. p. 24.

El proceso de estrechamiento es acompañado por la operación de correlación de la señal de banda ancha con el apropiado retardo de código de ensanchamiento, como se muestra en la figura 27.

Figura 27. **Secuencia directa del receptor BPSK**



Fuente: LAIHO, Jaana; WACKER Achim. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. p. 24.

Esta demodulación o correlación de la señal recibida con el retardo de código ensanchado es una función crítica en todos los sistemas de espectro ancho. El componente de la señal a la salida del mezclador del estrechamiento es definido como:

$$S'_n(t) = \sqrt{2 \cdot P} \cdot c(t - T_d) \cdot c(t - T'_d) \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \theta_d(t - T_d) + \phi]$$

T'_d es la mejor estimación del retardo de transmisión en el receptor. Como $c(t)$ es siempre igual a +1 o -1, el producto de:

$$c(t - T_d) \cdot c(t - T'_d)$$

Será la unidad si,

$$T_d = T'_d$$

Es decir, si el código ensanchado en el receptor se sincroniza con el código ensanchado del transmisor. Cuando están correctamente sincronizados, la componente de la señal es estrechada y S_n puede ser demodulada usando una convencional y coherente modulación de fase.

2.5. Tecnología HSDPA o 3.5G

La tecnología de acceso de paquete de descarga de alta velocidad HSDPA (*high speed downlink packet access*) es la optimización de las tecnologías UMTS/WCDMA para obtener mayores velocidades de transferencia de datos (*downlink*) entre la red y los equipos terminales UE.

Una de las mejoras significativas de la tecnología de acceso de descarga de alta velocidad son los tiempos de acceso a la red mucho más rápidos para los servicios de datos en los abonados.

Existen conjuntos de especificaciones para las tecnologías UMTS que son dados por el 3GPP, el conjunto de especificaciones que determinan los estándares mínimos para la tecnología HSDPA es el *release 5*, pero este no es el límite de esta nueva tecnología también existe el acceso de paquete de carga de alta velocidad HSUPA (*high speed uplink packet access*) que contiene un número importante de mejoras para la transmisión de datos desde equipo del usuario UE, hacia la red y tasas de transmisión de varios Mbit/s, mayores rendimientos (*throughputs*) y tiempos de acceso más rápidos, esto forma parte del conjunto de especificaciones *release 6*.

A la fusión entre las tecnologías HSDPA y HSUPA se le conoce también como paquete de acceso de alta velocidad por sus siglas en inglés HSPA (*high speed packet access*).

Con la tecnología HSPA se benefician los servicios de datos que requieren transmisión de grandes volúmenes de datos en *uplink* y *downlink* que necesitan una interacción rápida entre ambos enlaces, los servicios de internet móvil, voz sobre IP y videoconferencias son ejemplos de estas aplicaciones.

Las ventajas de HSPA se lograrán mediante el empleo de nuevas técnicas en la interfaz. Esto incluye, por ejemplo, la introducción de un protocolo rápido de transmisión de datos (*hybrid automatic repeat request, HARQ*) tanto en *uplink* como en *downlink* que permite al recipiente una solicitud automática para la repetición de la transmisión de paquetes erróneos. A diferencia de UMTS, donde sólo se pueden transmitir paquetes de datos nuevos cada 10 mili segundos, HSPA permite la transmisión cada 2 mili segundos.

De este modo, la red es capaz de responder ante cambios rápidos en las condiciones del canal radio. Se mantiene la estructura básica de la trama de transmisión de UMTS con una longitud de 10 mili segundos y 15 "*time slots*". Sólo se introducen en el caso de HSPA subtramas de 2 mili segundos de duración y 3 "*time slots*" lo cual hace más efectivo el envío y recepción de paquetes.

Además de los numerosos cambios en los parámetros de transmisión físicos y la introducción de nuevos canales de transmisión físicos, HSPA requiere también cambios en la arquitectura de protocolos.

La tecnología HSDPA se basa en cuatro pilares:

- Adaptación rápida de enlace, LA (*link adaptation*).
- Solicitud automática repetitiva híbrida, HARQ (*hybrid automatic repeat reQuest*).
- Planificación rápida de paquetes.
- Tamaño de marco corto.

La arquitectura UMTS no ha sufrido muchos cambios al introducir la tecnología HSDPA, sólo una nueva capa de red de acceso medio, MAC (*medium access network*) se ha agregado. Además, algunas funciones lógicas que tradicionalmente realizaba el RNC se han movido al Nodo-B. Esta nueva capa de MAC se llama MAC-hs y se encuentra en el Nodo-B.

La MAC-hs lleva a cabo entre otras cosas, programación, HARQ y control de flujo, estas funciones han sido realizadas tradicionalmente en el RNC. La adaptación de enlace sustituye dos características importantes del tradicional sistema UMTS. Estas características son el factor de ensanchamiento variable y control de potencia rápido. Otra característica deshabilitada en HSDPA es la entrega-suave (*soft-handover*).

Gracias a estos cambios, HSDPA es capaz de alcanzar una velocidad de bits teórica de hasta 14,4 Mbps. Sin embargo, debido a limitaciones tecnológicas, es probable que la tasa de bits máxima sea más cercana a 10 Mbps.

2.5.1. Adaptación rápida de enlace

UMTS, es definido en el *release* 99 del 3GPP, los usos de control de potencia, factor de ensanchamiento variable con los efectos de adaptación aire. Control de potencia y la selección del factor de ensanchamiento SF, (*spreading factor*) son ejecutadas a 1500 Hz y a cada intervalo de tiempo de transmisión TTI, (*time transmission interval*) respectivamente. HSDPA deshabilita estas características y aborda la interfaz aire de otra manera. HSDPA usa modulación adaptativa y codificación, en su lugar.

Por otra parte, el Nodo-B seleccionará la correcta modulación y el esquema de codificación para cada HSDPA TTI, es decir, 2 mili segundos. Por lo tanto, la adaptación se refiere a la modulación adaptativa y codificación AMC, (*adaptive modulation and coding*) y al gran número de códigos de canalización escogidos. La adaptación rápida se refiere al hecho de que la adaptación de enlace se realiza a cada 2 mili segundos.

La decisión de adaptación de los vínculos se basa en la información proporcionada por los UE´s y ejecutado por el Nodo-B. Esta información llega a través del canal de enlace de subida HS-DPCCH. Este canal lleva una carga útil, un campo llamado canal indicador de calidad CQI, (*channel quality indicator*).

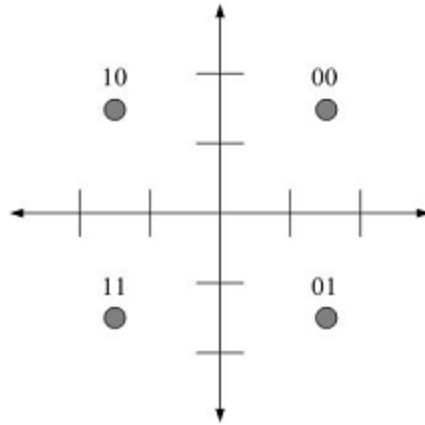
Los CQI´s son seleccionados por los UE´s dependiendo de la categoría del UE, del nivel de potencia P-CPICH, (*primary common pilot channel*) o nivel de potencia S-CPICH, (*secondary common control physical channel*).

Por otra parte, el valor CQI elegido por el UE tiene en consideración que la probabilidad de error de transporte del bloque no exceda el 10 %. Los períodos de transmisión CQI´s son configurados en niveles superiores. Los períodos de transmisión CQI son seleccionados por la red y comandados por el UE. Además, los UE´s pueden ser configurados para no enviar ninguna respuesta hacia el Nodo-B. Aunque, el CQI está diseñado para ayudar al Nodo-B, a realizar la adaptación del enlace, en Nodo-B ejecutará la adaptación rápida de enlace dependiendo del algoritmo implementado, que el proveedor especifica.

2.5.1.1. Modulación adaptativa y codificación

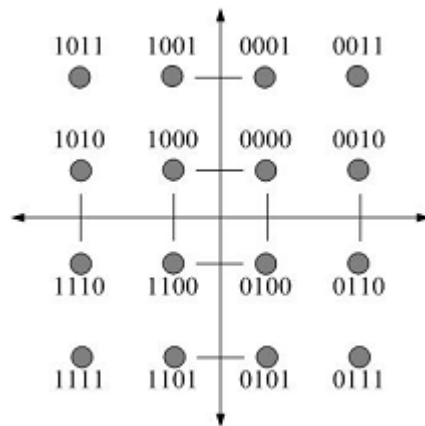
HSDPA utiliza dos esquemas de modulación para el canal HS-DSCH (*high speed downlink shared channel*). Una es la modulación QPSK, el segundo esquema de modulación es la 16QAM. En las figuras 28 y 29 se pueden observar las constelaciones de estos esquemas de modulación y de cómo los bits son asignados.

Figura 28. **Constelación QPSK**



Fuente: Helsinki University of Technology. *Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system.* p. 30.

Figura 29. **Constelación 16-QAM**



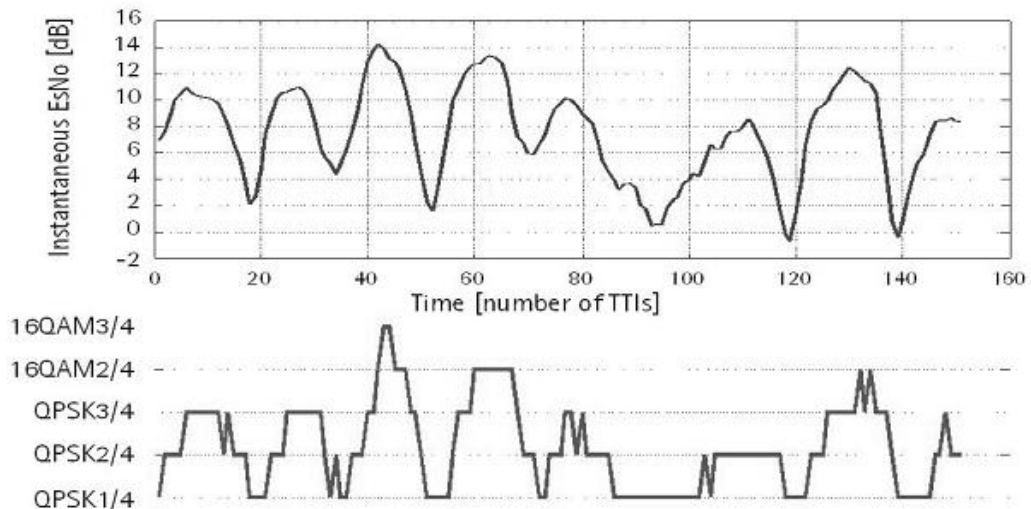
Fuente: Helsinki University of Technology. *Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system.* p. 30.

Como se observa 16QAM usa cuatro bits para representar un símbolo, mientras QPSK usa sólo dos bits para ese mismo propósito. Por lo tanto 16QAM duplica la velocidad de datos.

El Nodo-B ajustará la modulación requerida por cada TTI, dependiendo del entorno de radio del UE. Este hecho minimiza el efecto del problema cerca-lejos. En otras palabras, los UE's cercanos al Nodo-B recibirán mejor potencia por muestra (E_s/N_0), que los UE's situados lejos del Nodo-B. Por lo tanto, el Nodo-B seleccionará el nivel de modulación más alto (16 QAM), mientras que un nivel de modulación más bajo (QPSK) será requerido después.

Esto se ve más detallado en la figura 30, los niveles más altos de modulación son seleccionados cuando la potencia por muestra recibida es apropiada para estos niveles de modulación altos.

Figura 30. **Adaptación rápida de enlace**



Fuente: Helsinki University of Technology. *Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system.* p. 31.

UMTS hace uso de ambos, convencionales y codificadores turbo, HSDPA usa sólo codificadores turbo desde que estos codificadores son más eficientes que los convencionales. Por razones de compatibilidad, HSDPA continua usando 1/3 de la relación de codificadores turbo. La relación de código efectiva ECR, (*effective code rate*) será diferente de la relación de codificación turbo. Después de revolver los datos a través del codificador turbo, los datos son ajustados, con esto se dice que los datos tienen una repetición o punción a la salida del codificador.

La tarea del módulo codificador turbo y el módulo punción/repetición es codificar los datos enviados por la interfaz aire de una manera que los datos estén protegidos contra el ruido que produce el canal, esto quiere decir que los datos pueden ser recuperados incluso si en ruido del canal los daña

La tabla 2.1 muestra las tasas de datos obtenidas a diferentes niveles de modulación, a un distinto número de códigos y diferente relación de código efectiva (ECR).

Tabla I. **Códigos HS-PDSCH**

		Códigos HS-PDSCH		
Modulación	ECR	1 Código	5 Códigos	15 Códigos
QPSK	1/4	120 Kbps	600 Kbps	1 800 Kbps
	2/4	240 Kbps	1 200 Kbps	3 600 Kbps
	3/4	360 Kbps	1 800 Kbps	5 400 Kbps
16 QAM	2/4	480 Kbps	2 400 kbps	7 200 Kbps
	3/4	720 Kbps	3 600 Kbps	10 800 Kbps
	4/4	960 Kbps	4 800 Kbps	14 400 Kbps

Fuente: elaboración propia.

2.5.2. Solicitud automática repetitiva híbrida, HARQ

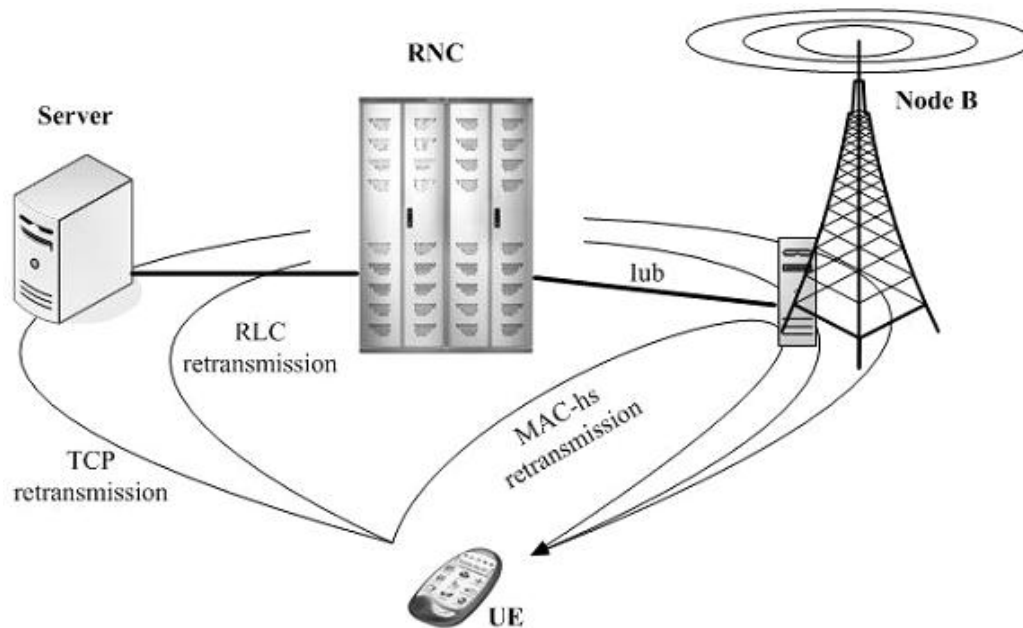
Una solicitud automática repetitiva híbrida es un método de control de errores realizado en la capa física. HSDPA utiliza detenerse y esperar, esto significa que el emisor se detiene hasta esperar una confirmación. Después de eso, el emisor seguirá enviando información.

Detenerse y esperar es muy ineficiente a menos de que se manejen varios procesos en paralelo, de esta manera mientras un proceso se detiene esperando la confirmación, otro proceso puede enviar información a otro usuario.

Tradicionalmente en UMTS, las retransmisiones han sido manejadas por el RNC, debido a esto los tiempos de retransmisión eran relativamente altos, en el *release 5*, las retransmisiones HSDPA son manejadas por el Nodo-B. Como resultado, se logran retransmisiones más rápidas y tiempos de retransmisión más pequeños. UMTS ha alcanzado tiempos de retransmisión de 110 mili segundos a 150 mili segundos, sin embargo, en HSDPA estos tiempos están alrededor de 70 mili segundos.

En la figura 31 muestra las diferentes capas de retransmisión. Ahí se pueden observar que las retransmisiones más rápidas serán las retransmisiones MAC-sh desde el Nodo-B que es el único elemento que participa en el proceso.

Figura 31. Capas de retransmisión



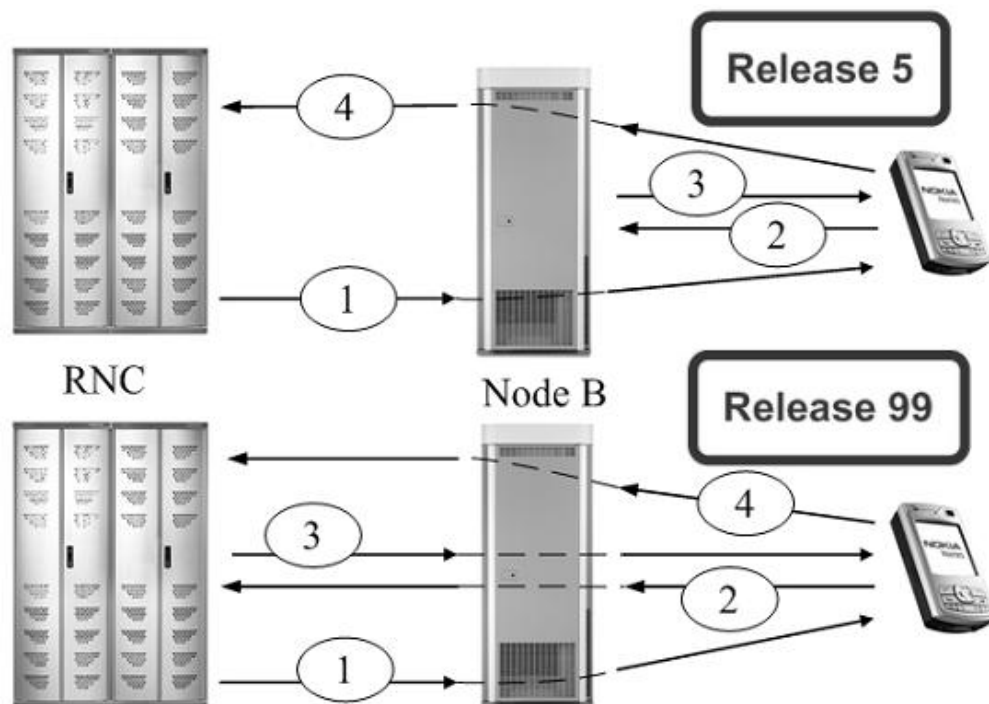
Fuente: Helsinki university of technology. *Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system.* p. 33.

Después de un cierto número de retransmisiones, el RNC se hará cargo y se llevará a cabo una retransmisión de control de enlace de radio RLC (radio link control), estas retransmisiones tendrán retardos mayores, que son un efecto directo de las transmisiones a través de la interfaz I_{ub} y algunos pasos adicionales del proceso.

Por último, si las retransmisiones RLC fallan o un tiempo de espera a nivel de aplicación ocurre, una retransmisión TCP (*transmission power control*), será necesaria. Estas retransmisiones serán las más lentas ya que tienen que pasar a través de toda la red básica, el RAN (*radio access network*) y el internet.

El procedimiento de retransmisiones rápidas se puede ver mejor en la figura 32, así como, el procedimiento utilizado en el *release* 99. El procedimiento se puede simplificar en cuatro pasos. En el primer paso (1) el RNC envía un paquete al UE, este paquete pasará a través del Nodo-B donde será amplificado, programado y finalmente regresado al UE. El UE responderá (2) con una confirmación positiva ACK (*acknowledge*) o una confirmación negativa (*negative acknowledge*) NACK, como se observa en la figura 32, este ACK o NACK es regresado al RNC con lo que este se hará cargo de la retransmisión (3) de el paquete apropiado si es necesario.

Figura 32. **Procedimiento de retransmisión**



Fuente: Helsinki university of technology. *Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system.* p. 34.

Sin embargo, en el *release 5*, el ACK/NACK es recibido por el Nodo-B, que tomará medidas para retransmitir los datos apropiados al UE. Finalmente el UE envía una respuesta positiva (ACK) al Nodo-B (4) que regresará el ACK/NACK al RNC. Ya sea si el UE envía una respuesta negativa (NACK) al Nodo-B, este retransmitirá nuevamente los datos correctos. Después de una cierta cantidad de repeticiones, el Nodo-B le preguntará al RNC tomar alguna medida (figura 31 retransmisión RLC) y el proceso comienza de nuevo.

El equipo de usuario puede rápidamente realizar una petición de retransmisión de datos perdidos y combinar la información de las transmisiones originales con las transmisiones posteriores, antes de intentar decodificar el mensaje. Este enfoque, llamado *soft-combining*, mejora el rendimiento y proporciona robustez al sistema. Se envía un NACK cuando los datos no se reciben correctamente y se envía un ACK cuando los datos se reciben correctamente.

HARQ implementa dos diferentes estrategias de retransmisión: esquema de combinación de paquetes y redundancia incremental. El esquema de combinación de paquetes significa que las retransmisiones serán totalmente idénticas al dato original transmitido. Y por otro lado redundancia incremental significa que las retransmisiones serán distintas al dato original transmitido.

Las primeras transmisiones siempre serán autodescifrables, todos los bits son enviados de forma sistemática, además de algunos bits de paridad. La que se utilizará dependerá de la calidad del canal y de la capacidad del UE, *chase bombing* ha demostrado ser más eficaz que la redundancia incremental cuando son usadas tasas de bits más altas. La redundancia incremental ofrece un mejor rendimiento para tasas de codificación efectivas menores, el inconveniente que presenta es que los UE's deberán tener una mayor capacidad de memoria.

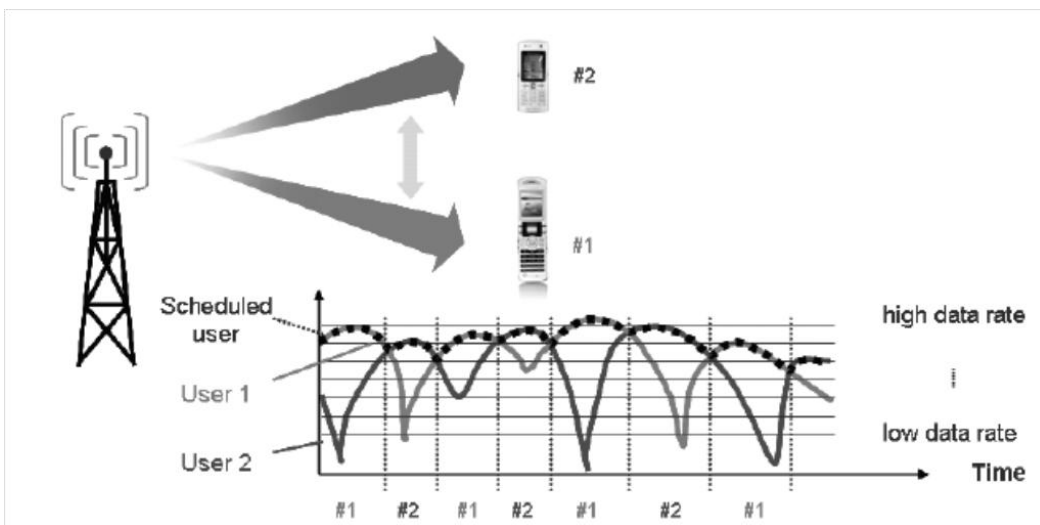
2.5.3. Planificación rápida de paquetes

La planificación rápida se encarga de decidir, según las condiciones de radio más favorables, hacia que usuario se debe transmitir. La planificación es controlada cada TTI por el Nodo-B con el protocolo de acceso al medio MAC-hs, nuevo protocolo incorporado para HSDPA. Esta también es una de las tareas realizadas por el RNC y que pasa a ser una función del Nodo-B.

La planificación calcula las condiciones de radio instantáneas del canal de bajada hasta el UE. Cada UE que utiliza servicios de alta velocidad transmite informes de calidad del canal regularmente a la estación base (Nodo-B) y la planificación determina en conjunto el rendimiento de HSDPA.

Para cada TTI, la planificación decide para que UE del canal de HS-DSCH se debería transmitir y en cooperación cerrada con el mecanismo de adaptación del enlace, decide la modulación y el número de códigos a utilizar. Esto determina la tasa de bits de transmisión.

Figura 33. **Planificación rápida**



Fuente: Helsinki university of technology. *Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system.* p. 40.

Aquí se puede ver un Nodo-B transmitiendo a 2 terminales móviles. Como se ve en la gráfica según va transcurriendo el tiempo, cada TTI, el Nodo-B decide hacia que usuario transmite datos, según como se encuentre el canal hasta ellos. Así se garantiza que siempre se transmite una tasa de datos altos y más o menos constante.

3. TELEFONÍA CELULAR 4G

Hoy en día, las tecnologías de comunicación se han convertido en una parte integral de la vida de todos, de hecho su uso es casi una necesidad, las personas que no tienen acceso a las nuevas tecnologías se enfrentan a una limitación personal. El desarrollo de las tecnologías de comunicación no se detiene, debido a la demanda de mayor capacidad en la comunicación surge la idea de la evolución en tecnologías de telefonía, la 4ª generación de telefonía móvil comúnmente llamada 4G, que al igual que la tercera generación no es una sola tecnología, es un conjunto de nuevas tecnologías.

3.1. ¿Qué es la tecnología 4G?

La cuarta generación de telefonía celular es una evolución más de las tecnologías celulares que parten de las redes 3G, aunque esta nueva generación de tecnología de telefonía no está definida totalmente en cuanto a su arquitectura, todo parece indicar que será una arquitectura por capas. La red de la última generación de telefonía es una combinación de las tecnologías existentes con las nuevas tecnologías, esta nueva generación aporta nuevas velocidades de datos, una alta capacidad y calidad en sus servicios. La jerarquía de la red 4G se espera esté formada de cuatro grandes niveles de redes: las redes personales, las redes locales, las redes celulares y por satélites basadas en las redes de distribución.

Para hacer frente a la creciente demanda de enlaces de descarga, se esperan velocidades mayores en comparación con la evolución de los sistemas UMTS, hasta 100 Mbts en ambientes al aire libre y hasta 1Gb/s en ambientes internos. Para lograr estas velocidades la cuarta generación de tecnologías de telefonía celular cuenta con tecnologías multiportadora, técnicas de capa de enlace como la HARQ y tecnologías multiantena, que son las más prometedoras.

Se puede deducir que la cuarta generación de telefonía celular espera abastecer a la población de usuarios móviles que cada vez es mayor, con una variada gama de atractivos en cuanto a servicios que definitivamente requieren de una mejora tecnológica en términos de velocidad de datos, cobertura, consumo de energía, un eficiente uso del espectro, todas estas características serán apoyadas por las novedosas tecnologías de interfaz aire y las tecnologías de antenas, por este motivo son obligatorias algunas modificaciones en la arquitectura de la red inalámbrica.

3.1.1. Planificación general para las redes 4G

En la planificación de redes 4G será necesario un conocimiento de muchas tecnologías usadas en las generaciones previas de telefonía (2G y 3G), así como, el conocimiento de las nuevas tecnologías de las redes 4G. En las redes 4G se espera tener un ancho de banda superior a los 20 Mbps para dar un aumento significativo al tráfico de datos, por lo cual son necesarios los suficientes recursos de frecuencia.

Tal como se había previsto, el ancho de banda que se ofrecerá en los sistemas 4G es de tres órdenes de magnitud mayor que en los sistemas 2G. El radio de cobertura de una estación base BS (*base station*) por lo general disminuye si las señales se transmiten a una velocidad de bits altas, que por lo general son más vulnerables al ruido. Los sistemas 4G podrían operar en una banda de frecuencias más altas, de modo que la pérdida de propagación de la señal inalámbrica es mayor que en los sistemas 2G y 3G. Pero esto se puede solucionar disminuyendo el radio de cobertura de la estación base BS.

Como se había dicho el tráfico en las redes 4G se va a ampliar considerablemente y el crecimiento del tráfico de datos multimedia puede llevar a un aumento de la carga total en el núcleo de la red de la conmutación de paquetes PS (*packet switched*) de la red básica, especialmente cuando los subsistemas multimedia IP (IMS) están involucrados, porque este subsistema contiene llamadas de voz sobre IP (VoIP) y ofrece una plataforma para servicios multimedia.

3.1.2. Problemas en el diseño de una red 4G

En el diseño de una red de comunicaciones se debe tener en cuenta que hay problemas que se presentan, algunos de los problemas en la planificación de una red 4G que pueden surgir con mayor probabilidad se determinan a continuación.

- El problema de estimación del número potencial de usuarios en la red 4 G.
- El problema de la predicción de las características del tráfico de datos.
- El problema de la estimación del rendimiento de los elementos de servicio del núcleo de la red de conmutación de paquetes, teniendo en cuenta el tráfico similar de los multiservicios.

Otro aspecto importante en la evolución de las comunicaciones inalámbricas se refiere a los cambios de la red de acceso de radio RAN (*radio access network*) en los sistemas 4G. También está la necesidad de abastecer la enorme cantidad de tráfico que se generará en las redes 4G, el radio de cobertura de la estación base tiene que ser pequeño y la RAN 4G debe comprender más estaciones base BS, resultando una carga pesada en los enlaces entre los elementos de la RAN, lo que sugiere cambios en las actuales redes 3G.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se puede observar que en el lado de la red central de los sistemas 4G, el objetivo principal es reducir los cambios y utilizar los elementos existentes 3G y su funcionalidad tanto como sea posible. La red de acceso de radio RAN en los sistemas 4G, experimentara cambios importantes en especial sobre la capa de transmisión física.

La configuración de los enlaces físicos de la red es uno de los principales problemas en la planificación de redes móviles de comunicaciones ya que determina el rendimiento a largo plazo y la calidad de servicios de las redes.

Para solucionar los posibles problemas en el diseño de una red 4G, se debe estimar el número potencial de usuarios, se debe tener un método de estimación que encuentre el tráfico generado por los usuarios de la red 4G. Se debe calcular tasa de transferencia por usuario en una hora pico, la duración media de llamadas, la intensidad total de tráfico en nodos IMS. Todo lo mencionado anteriormente es para el diseño de una red eficiente y que el sistema sea capaz de abastecer el tráfico de llamadas y servicios ofrecidos en las redes 4G.

3.1.3. Configuración de RAN en una red 4G

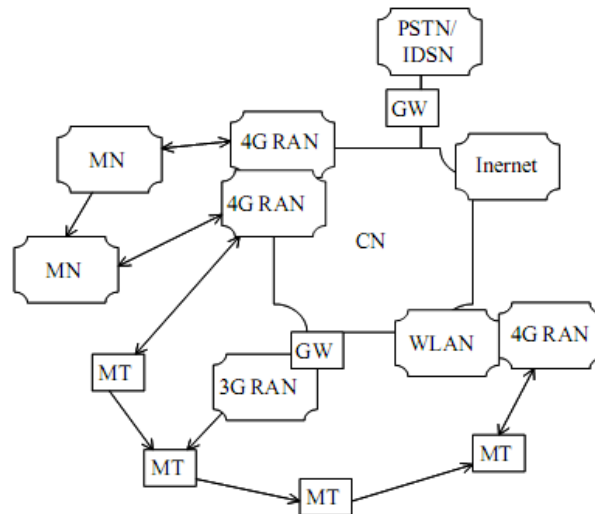
Con el fin de implementar un eficiente acceso de red remoto o de radio RAN (*radio access network*), son incluidas nuevas configuraciones de estaciones base de control. Comparado una RAN de redes 3G con una RAN de redes 4G, se puede ver que una RAN de redes 3G tiene una estructura vertical en forma de árbol y múltiples estaciones base BS's, que están conectadas al control de acceso de radio RAN (*radio access network*), con un fuerte control sobre esas BS's.

Para mejorar la calidad de la señal en los bordes de la celda, fue introducida una cantidad de esquemas de trasposos (*handovers*) en los sistemas 3G, en el que un equipo móvil puede comunicarse con múltiples estaciones base, la señal del equipo de usuario UE (*user equipment*) es entregado a estaciones base adyacentes.

Los enlaces de subida (*uplink*), que son del UE al BS, son recibidos por la estación base y transmitidas al RNC y el RNC las combina para crear un flujo de datos. Debido a esto el tráfico en las BS's por enlaces se multiplica en comparación con la información original del usuario. Si se utiliza esta misma configuración en el RAN 4G, en la que estos trasposos pueden ocurrir con mayor frecuencia, puede haber un mayor procesamiento de señales en el RNC, causando así un aumento severo de los costos en el RAN.

La estructura propuesta para el RAN 4G se puede ver en la figura 34, en esta configuración las BS's se agrupan en racimos y hay una BS conectada a la red principal CN (*core network*), las BS's están conectadas entre sí por una especie de red de área local LAN (*local area network*), las funciones del RNC se distribuyen en cada BS.

Figura 34. Red basada en IP



Fuente: MISHRA, Ajay R. *Advanced celular network planning and optimisation 2G/2.5G/3G evolution to 4G*. p. 429.

3.1.4. Modelado de red

La arquitectura de redes 4G utiliza tecnologías como Ethernet para el acceso por cable, Wi-Fi para el acceso inalámbrico a una LAN y la capa física de una red UMTS (WCDMA) para el acceso celular. Esto quiere decir que los acoples para estas tecnologías deben ser soportados para soportar la transferencia de datos por parte del usuario sin romper su conexión de red manteniendo sus niveles de calidad.

3.1.5. Calidad de servicio QoS

La arquitectura de la calidad de servicio QoS (*quality of service*) debe ser una infraestructura escalable que se pueda ampliar potencialmente para abarcar grandes áreas y mantener los niveles de calidad de servicio contratados. No deben ser impuestos servicios específicos de red debido a la arquitectura de la calidad de servicios. La arquitectura de calidad de servicios deber proporcionar diferentes servicios de capa de red, tales como internet, correo electrónico, etcétera.

La arquitectura de la calidad de servicios debe tener en cuenta múltiples aspectos como la calidad de servicios a nivel de paquetes, a nivel de transacción y a nivel de circuito.

3.1.5.1. QoS a nivel de paquetes

En este nivel de calidad de servicio, se debe tener en cuenta el rendimiento del sistema y la tasa de errores, los recursos de la red como un buen aprovechamiento del ancho de banda y el protocolo de acceso son posibles influencias.

3.1.5.2. QoS a nivel de transacción

En este nivel de calidad de servicio se describe tanto el tiempo que se tarda la red en completar una transacción como la tasa de pérdida de paquetes, algunas transacciones pueden ser sensibles al tiempo, como la descarga de algún paquete de información, pero lo que no puede tolerar en las transacciones es la pérdida de paquetes.

3.1.5.3. QoS a nivel de circuito

En este nivel de calidad de servicio se incluye el bloqueo de llamadas, esta característica depende principalmente de la habilidad de la red para establecer y mantener un circuito extremo a extremo.

3.1.6. Ventajas y limitaciones en redes 4G

Como se ha visto en el transcurso del tiempo toda tecnología nueva no es perfecta, cuenta con limitaciones que pueden afectar su desempeño en el inicio, algunas de estas limitaciones se pueden ver claramente antes de poner en funcionamiento las nuevas tecnologías, por este motivo se tiene que estar preparado para solucionar dichas limitaciones. Las redes digitales de cuarta generación también traen muchas ventajas que cambiarán nuevamente la forma en que se comunica.

Algunas de las ventajas son, un mayor ancho de banda hasta 20Mbps, velocidades de 100Mbps en movimiento y hasta 1Gbps en reposo, el acople con tecnologías como Wi-Fi y WiMAX. La base de la cuarta generación de telefonía celular son las tecnologías LTE que el acrónimo de *Long Term Evolution*, es decir, evolución a largo plazo. Estas siglas hacen referencia a un nuevo estándar de banda ancha móvil que da vida a las redes 4G. La red estará basada en protocolos de internet IP (*internet protocol*) lo que permitirá una conectividad global a través de distintas redes como la UMTS, redes LAN y WLAN y Ethernet.

Algunas de las limitaciones que se deben tener en cuenta es que, estas nuevas tecnologías generarán tráfico de datos muy grande generado por los servicios multimedia. Las redes 4G utilizarían un solo núcleo IP el cual debe ser capaz de soportar todo el tráfico.

Otras de las novedades de esta nueva evolución de tecnologías móviles es que puede haber usuarios simultáneos para cada equipo terminal y claro la ya mencionada conectividad global con un núcleo basado en IP y con una posible solución sobre el problema del espacio de direcciones con los protocolos de internet versión 6, IPv6 (*internet protocol versión 6*).

El radio de cobertura de las estaciones base BS se reduce debido al uso de altas velocidades de bits, las cuales son más vulnerables al ruido, es decir, cuando más se aleja el radio de cobertura y se tiene un enlace de descarga (*dowlink*) o carga (*uplink*) de alta velocidad, este enlace es vulnerable al ruido ocasionando distorsión significativa en dicho enlace y por este motivo se reduce el radio de cobertura de las estaciones base.

El problema de la reducción de la cobertura de las estaciones base ocasionaría un nuevo problema que se debe tomar en cuenta, debido a esta disminución del radio de cobertura debe haber más estaciones base para cubrir por completo la misma área que ya está cubierta con dichas estaciones base, lo cual incrementa el costo de implementación de estas nuevas tecnologías de telefonía celular.

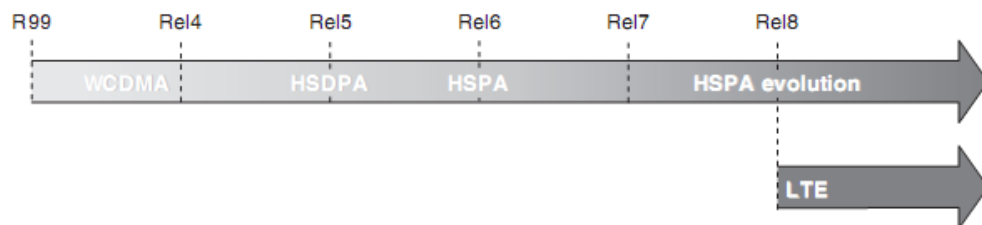
Las redes de 4G deberán soportar mecanismos eficientes que permitan la movilidad de usuarios, que utilizando el mismo o distinto equipo terminal se conecten a la red mediante distintas redes de acceso (WCDMA, WLAN, Ethernet, etcétera) operadas por distintas entidades.

3.2. Tecnologías de evolución a largo plazo LTE

Las tecnologías de evolución a largo plazo LTE (*long term evolution*) son las tecnologías que se espera sean utilizadas en las siguientes generaciones de telefonía móvil por ser las más prometedoras y las que mejor se acoplan a las necesidades actuales de los usuarios.

En la figura 35 se puede ver en donde están situadas las tecnologías LTE, como se puede apreciar son las tecnologías que se dan después de las actuales HSPA o 3,5 G por lo cual las tecnologías LTE son consideradas de cuarta generación 4 G.

Figura 35. Evolución LTE



Fuente: DAHLMAN, Erick; PARKVALL, Estefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. p. 314.

A continuación se detallan las tecnologías sobre modulación y demodulación más destacadas de la cuarta generación de telefonía móvil 4G que aprovechan de mejor forma el ancho de banda disponible.

3.2.1. Tecnología OFDM

La técnica de multiplexación por división de frecuencia ortogonal OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) es una técnica especial de modulación multiportadora donde una sola secuencia de datos es transmitida sobre un número menor de subportadoras de menor tasa de datos, esto puede ser comprendido de una mejor manera utilizando la siguiente analogía, suponga necesita transportar unos paquetes y para eso necesita contratar un camión tiene dos opciones: contratar un camión grande o cuatro camiones más pequeños, con cualquiera de los dos métodos puede transportar la misma cantidad de paquetes.

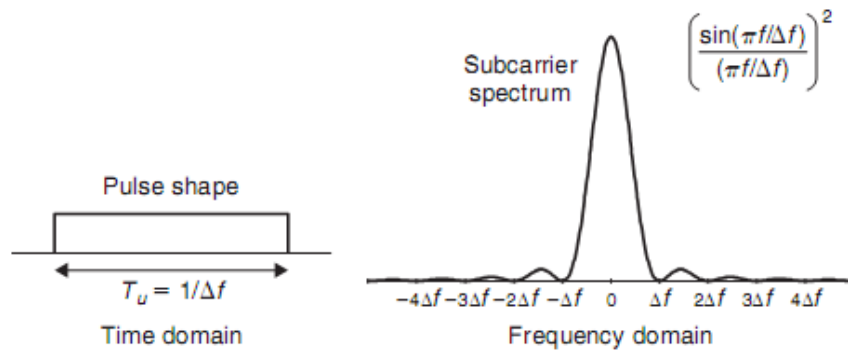
Sin embargo, en el caso de un accidente si utiliza un solo camión este no entregará los paquetes, mientras que con los cuatro camiones pequeños sólo una cuarta parte de la entrega de se verá afectada. En este caso los cuatro camiones más pequeños son las señales que son llamadas subportadoras en un sistema OFDM y deben ser ortogonales.

Los subcanales independientes pueden ser multiplexados usando la multiplexación por división de frecuencia FDM llamada también transmisión multiportadora o puede usar la multiplexación por división de código CDM llamada transmisión multicódigo.

3.2.2. Modulador OFDM

En la figura 36 se puede ver un pulso cuadrado en el dominio del tiempo, el cual corresponde al espectro de una onda subportadora sinc en el dominio de la frecuencia.

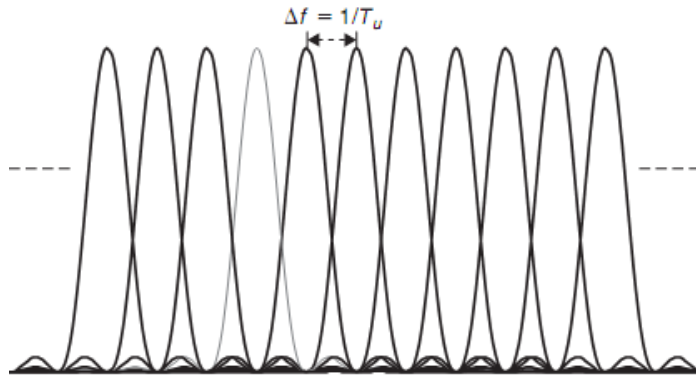
Figura 36. Pulso cuadrado y espectro de una onda subportadora



Fuente: DAHLMAN, Erick; PARKVALL, Estefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. p. 46.

En la figura 37 se puede ver con más precisión el estrecho dominio de frecuencia de las subportadoras que contienen un espaciamiento $f = 1/T_u$ entre cada subportadora. Donde T_u es el tiempo de modulación por subportadora, el espaciamiento entre las subportadoras es igual a la tasa de modulación por subportadora $1/T$.

Figura 37. **Espaciamiento de subportadoras OFDM**



Fuente: DAHLMAN, Erick; PARKVALL, Estefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. p. 46.

Una ilustración descriptiva de un modulador básico OFDM se muestra en la figura 38 que consiste en un banco de moduladores complejos N_c , donde cada modulador corresponde a una subportadora OFDM.

Figura 38. **Modulador OFDM**

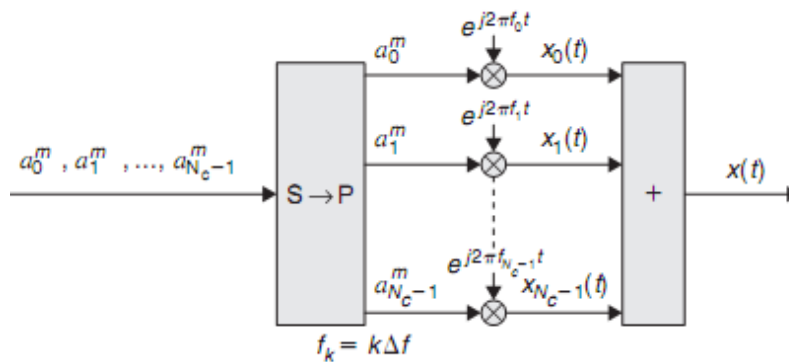


Figure valid for time interval $mT_u \leq t < (m+1)T_u$

Fuente: DAHLMAN, Erick; PARKVALL, Estefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. p. 47.

En la notación compleja de banda base, una señal básica OFDM $x(t)$ durante el intervalo de tiempo $mT_u \leq t < (m+1) T_u$ puede ser expresada de la siguiente forma:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k^{(m)} e^{j2\pi k \Delta f t}$$

Donde $x_k(t)$ es la k -enésima subportadora modulada con frecuencia igual a $f = k * \Delta f$ y $a_k^{(m)}$ es el (por lo general complejo) símbolo de modulación aplicado a la k -enésima subportadora durante el intervalo OFDM, todo esto durante el intervalo $mT_u \leq t < (m+1) T_u$. La transmisión OFDM está basada en bloques, lo que indica que, durante cada intervalo de símbolo OFDM, los símbolos de modulación N_c son transmitidos en paralelo, los símbolos de modulación pueden ser de cualquier técnica de modulación como la QPSK, 16QAM o 64QAM.

El número de subportadoras OFDM puede variar desde unos cientos hasta varios miles, con el espaciamento entre subportadoras que van desde varios cientos de KHz hasta unos cuantos KHz. Una vez que ha sido seleccionado el espaciamento de subportadora, el número de subportadoras puede ser asignado en función del ancho de banda.

El término modulación por división de frecuencia ortogonal OFDM se debe al hecho de que dos subportadoras moduladas OFDM $x_{k1}(t)$ y $x_{k2}(t)$ y son ortogonales entre sí sobre el intervalo de tiempo $mT_u \leq t < (m+1) T_u$.

$$\int_{mT_u}^{(m+1)T_u} x_{k_1}(t)x_{k_2}^*(t) dt = \int_{mT_u}^{(m+1)T_u} a_{k_1}a_{k_2}^* e^{j2\pi k_1\Delta ft} e^{-j2\pi k_2\Delta ft} dt = 0 \quad \text{for } k_1 \neq k_2$$

Una transmisión básica OFDM puede ser definida como una modulación de un conjunto de funciones ortogonales $\Phi_k(t)$ como se muestra a continuación.

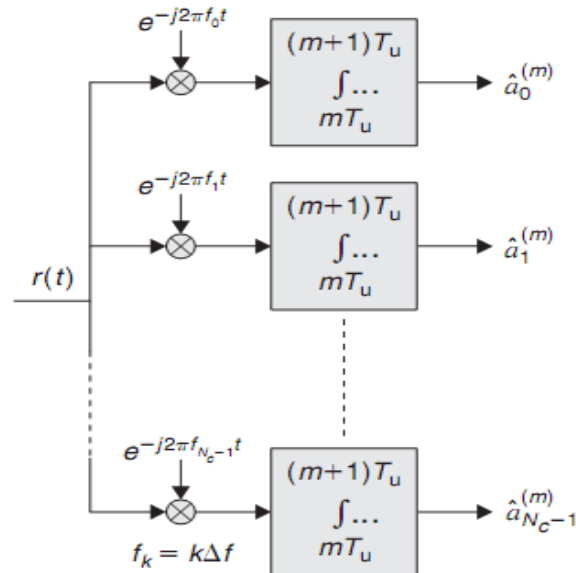
$$\varphi_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi k\Delta ft} & 0 \leq t < T_u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

3.2.3. Demodulación OFDM

En la figura 39 se muestra el principio básico de demodulación OFDM, que consiste en un bloque de correladores uno para cada subportadora, teniendo en cuenta la ortogonalidad entre subportadoras. Es evidente que en el caso ideal dos subportadoras OFDM no causan ninguna interferencia entre ellas después de la demodulación. Note que en este caso a pesar de que el espectro de las subportadoras vecinas claramente se solapan (figura 37) no se debe sólo a la separación del espectro de la subportadora.

La ortogonalidad de la subportadora es debido a la estructura específica del dominio de la frecuencia de cada subportadora en combinación con la elección específica del espaciamiento Δf igual a la tasa de símbolo por subportadora $1/T_u$.

Figura 39. Principio básico de demodulación OFDM

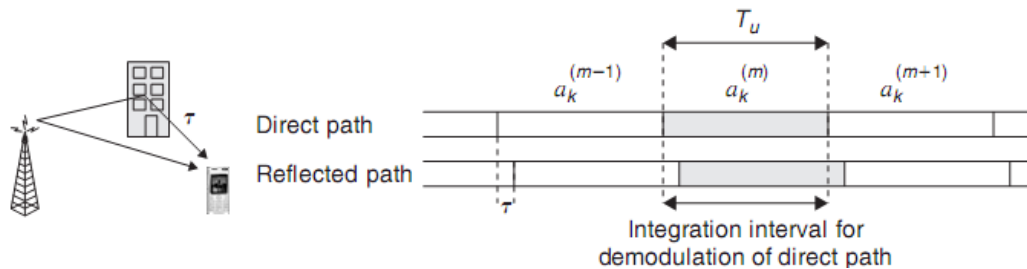


Fuente: DAHLMAN, Erick; PARKVALL, Estefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. p. 49.

Entonces una señal OFDM puede ser demodulada sin ninguna corrupción por parte de las subportadoras, sin embargo en el caso de un canal de tiempo-dispersión la ortogonalidad entre portadoras, en parte se perderá.

La razón de la pérdida de la ortogonalidad entre subportadoras es que en este caso el intervalo de correlación en la demodulación para una ruta se sobrepondrá con el símbolo límite de una ruta distinta, como se puede observar en la figura 40.

Figura 40. **Dispersión en el tiempo y la señal recibida**



Fuente: DAHLMAN, Erick; PARKVALL, Estefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. p. 51.

El intervalo de integración no corresponde necesariamente a un número entero de períodos exponenciales complejos, como consecuencia en el caso de un canal de tiempo dispersivo no habrá sólo interferencia entre símbolos dentro de una subportadora, si no también interferencia entre portadoras.

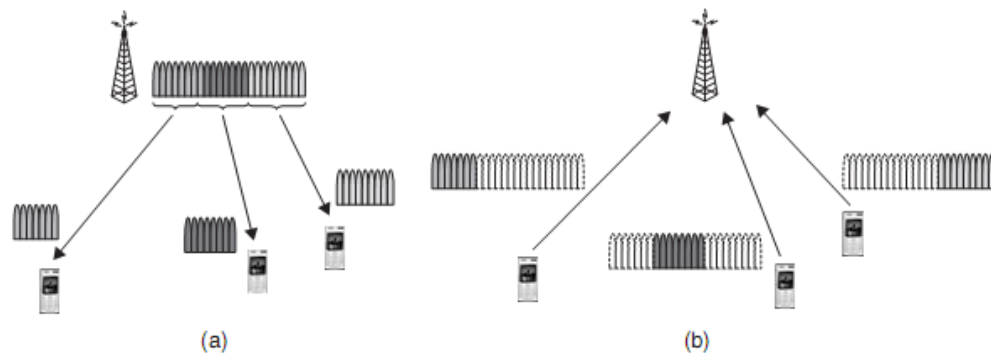
3.2.4. OFDM como esquema de multiplexación

En lo detallado anteriormente se asume que las subportadoras OFDM son transmitidas del mismo transmisor a un cierto receptor, por lo cual se deben de tener en cuenta los siguientes puntos:

- Transmisión de bajada (*downlink*) de todas las subportadoras a un solo equipo terminal.
- Transmisión de subida (*uplink*) de todas las subportadoras de un solo equipo terminal.

Pero, OFDM también puede ser usado como esquema multiplexado por el usuario o un esquema de acceso múltiple, teniendo en cuenta transmisiones simultáneas de señales separadas por frecuencia hacia y desde múltiples terminales móviles, como se muestra en la figura 41.

Figura 41. **OFDM como esquema de acceso múltiple o multiplexado por el usuario: (a) downlink y (b) uplink**



Fuente: DAHLMAN, Erick; PARKVALL, Estefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. p. 62.

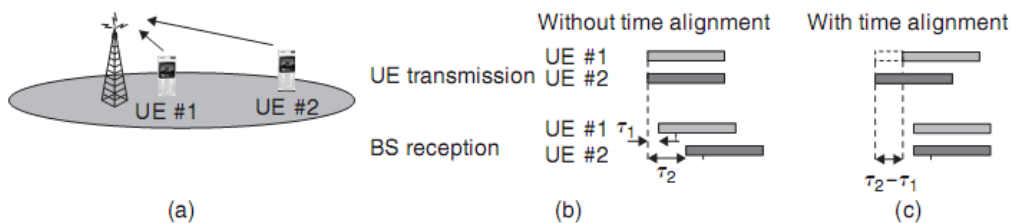
En la dirección descendente 41(a), el esquema multiplexado por el usuario implica que en cada intervalo de símbolo OFDM, son utilizados distintos subgrupos del total de subportadoras disponibles para la transmisión a distintos terminales móviles.

Similarmente en la dirección ascendente 41(b) el esquema multiplexado por el usuario o de acceso múltiple implica que en cada intervalo de símbolo OFDM, son utilizados distintos subgrupos del total de subportadoras disponibles para la transmisión desde distintos terminales móviles.

3.2.5. Sincronización con el equipo móvil

Debido a las diferencias en distancias de la estación base a los equipos móviles y su correspondiente diferencia en el tiempo de propagación es necesario controlar la sincronización de transmisión *uplink* de cada equipo móvil, esto para garantizar que cada transmisión ascendente llegue aproximadamente alineada a la estación base. Este proceso de sincronización debe ser activo ya que el equipo móvil se mueve dentro del radio de cobertura de la celda para sincronizar constantemente la sincronización.

Figura 42. Control de sincronización uplink



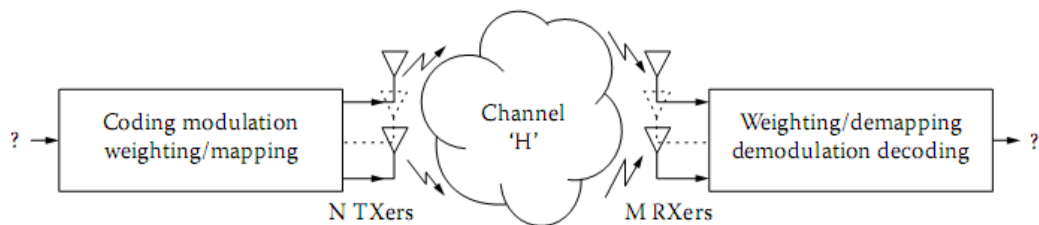
Fuente: DAHLMAN, Erick; PARKVALL, Estefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. p. 63.

En la figura 42(a) se puede ver como dos equipos móviles se comunican con la estación base dentro del radio de cobertura de la misma, en 42(b) se ve claramente la diferencia entre el tiempo de transmisión sin sincronización y en 42(c) se ven como la ayuda la sincronización a la transmisión *uplink*.

3.2.6. Sistemas MIMO

Un sistema múltiple-entrada/múltiple-salida MIMO (*múltiple input múltiple output*) consiste en tener un número n_T de antenas transmisoras y un número n_R de antenas receptoras. Esta tecnología transmite múltiples señales simultáneamente sobre un mismo canal de transmisión como el aire o cable, cada señal viaja con su propio y único rango de frecuencias.

Figura 43. Sistema de comunicación MIMO



Fuente: ZHANG, Yan; CHEN, Hsiao-Hwa. *Mobile WiMax Toward broadband wireless metropolitan area Networks*. p. 72.

En la figura 43 se puede ver un diagrama de comunicación MIMO inalámbrico, en donde tanto el transmisor como el receptor están equipados con múltiples antenas la modulación, codificación o mapeo de señales en las antenas pueden realizarse juntas o separadas. El canal está representado por una matriz compleja H de tamaño $n_R \times n_T$, los elementos b_{ij} son los coeficientes del canal entre la antena transmisora ($j = 1 \dots n_T$) y la antena receptora ($i = 1 \dots n_R$). Se denota el vector columna r como el vector de las señales recibidas por las antenas receptoras durante cada intervalo de símbolo.

El modelo de transmisión es representado a continuación:

$$r = Hx + n.$$

Donde x es la señal transmitida, H la matriz compleja formada por el número de antenas transmisoras y receptoras y n el número total de antenas. Si se asume que la potencia total media P_r recibidas en cada antena R_x (sin tomar en cuenta el ruido) es igual a la potencia media total transmitida P , de n_T antenas, la relación señal a ruido SNR en cada antena está dada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{P_r}{\sigma^2} = \frac{P}{\sigma^2}$$

Donde σ es la varianza, P_r la potencia recibida y P la potencia total.

Los sistemas MIMO están diseñados para explotar ciertas características relacionadas con el entorno del radio de propagación para alcanzar altas velocidades de datos mediante la transmisión de varias secuencias de datos en paralelo. Los sistemas MIMO proveen una mayor capacidad en comparación con los sistemas de una sola antena. Esto significa que aumenta la tasa de transferencia de datos por tener más de dos antenas físicamente separadas, además de utilizar diferentes canales de transmisión de datos. Aunque esta tecnología no es netamente 4G, es una técnica que se puede combinar con OFDM para lograr grandes velocidades de transmisión ya que MIMO sirve para tomar ventaja del multiplexado para incrementar el ancho de banda.

3.3. Tecnología WiMax

La tecnología de interoperabilidad mundial para acceso por microonda WiMax (*worldwide Interoperability for microwave access*) es una norma de transmisión de datos usando ondas de radio. Esta tecnología permite la recepción de datos por microondas y la retransmisión por ondas de radio. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha, lo que la hace ideal para la cuarta generación de telefonía celular 4G.

El único organismo habilitado para certificar el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipamiento de distintos fabricantes es el WiMax fórum, todo equipamiento que no cuente con esta certificación, no puede garantizar su interoperabilidad con otros productos. Basada en OFDM y MIMO soporta anchos de banda escalables según sea requerido.

3.3.1. WiMax de acceso fijo

Es un enlace de radio que se establece entre la estación base BS y un equipo terminal situado en un domicilio. Para un entorno fijo, las velocidades teóricas máximas que se pueden obtener son de 70 Mbps con un ancho de banda de 20 MHz. El ancho de banda necesario para obtener la velocidad máxima es el proporcionado por las redes 4G.

3.3.2. WiMax de acceso móvil

Aquí se permite el desplazamiento del usuario como se puede dar en una red 2G, 3G o 4G. Aunque el equipo terminal no está desarrollado del todo, puede ser una alternativa para las empresas de telecomunicaciones que apuestan por los servicios de movilidad estándar.

WiMax también compite con la tecnología WiFi que es la más utilizada para conexiones inalámbricas, algunos dispositivos móviles ya cuentan con conexión inalámbrica WiFi.

3.3.3. Descripción general de WiMax

WiMax móvil es la interfaz aire para sistemas inalámbricos de banda ancha móvil. La tecnología WiMax ofrece escalabilidad tanto en la tecnología de acceso de radio como en arquitectura de red, lo cual proporciona una gran flexibilidad en las opciones de despliegue de una red y sus servicios.

Algunas de las características más destacadas soportadas por WiMax móvil como escalabilidad, altas tasas de datos, seguridad y tipo de multiplexación se detallan a continuación.

3.3.3.1. Escalabilidad

A pesar de todos los esfuerzos que se han realizado para la armonización del espectro global, los recursos del espectro para la banda ancha inalámbrica mundial no están asignados de una manera organizada.

Por este motivo la tecnología WiMax está diseñada para escalar y operar en anchos de banda de canales distintos y acoplarse a las diversas necesidades. Esto permite que las diversas economías puedan darse cuenta de los beneficios que WiMax tiene para sus propias necesidades o circunstancias geográficas.

3.3.3.2. Altas tasas de datos

Las técnicas MIMO para antenas junto con esquemas de canalización, grandes marcos de control de acceso medio MAC (*medium access control*), avanzados esquemas de codificación y modulación permiten que WiMax pueda aportar la ayuda en velocidades altas en enlaces de bajada (*downlink*) con picos de bajada de hasta 70 Mbps y velocidades máximas en enlaces de subida (*uplink*) hasta de 32 Mbps en un canal de 10 MHz.

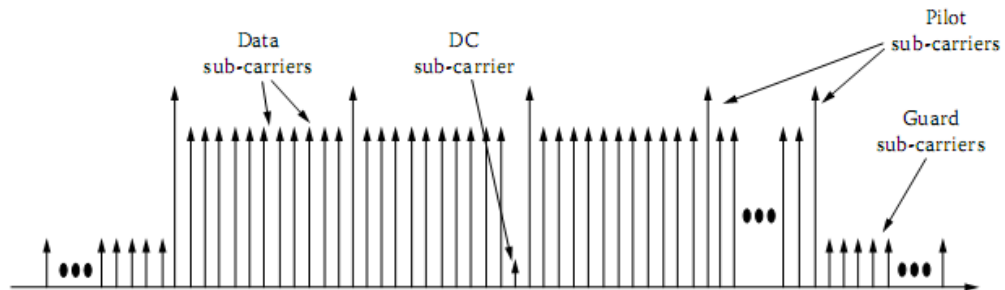
3.3.3.3. Seguridad para WiMax

Las características de seguridad que ofrece la tecnología WiMax son las mejores en su clase como el protocolo de autenticación extensible EAP (*extensible authentication protocol*), basado en la autenticación, encriptación avanzada por bloques. El apoyo a un conjunto diverso de credenciales de usuario existentes incluyendo el módulo de identidad del suscriptor, módulo universal de identidad de abonado SIM, tarjetas USIM, tarjetas inteligentes, certificados digitales y nombre de usuario, contraseña de los regímenes basados en los correspondientes métodos EAP para el tipo de credencial.

3.4. OFDMA en WiMax

WiMax está basado en la utilización de un esquema de acceso por multiplexación por división de frecuencia ortogonal OFDMA (*orthogonal frequency division multiple access*) y su interfaz aire consta de tres clases de subportadoras como se puede ver en la figura 44, las subportadoras de datos se usan en transmisión de datos, las subportadoras piloto se utilizan para estimación y propósitos de sincronización y las subportadora nulas se utilizan como bandas guardia para los requerimientos de enmascarado de espectro. Como es típico de los sistemas OFDM la corriente directa DC no es una subportadora modulada, los datos y subportadoras piloto se agrupan para formar subcanales.

Figura 44. Estructura OFDMA



Fuente: ZHANG, Yan; CHEN, Hsiao-Hwa. *Mobile WiMax Toward broadband wireless metropolitan area Networks*. p. 92.

En WiMax hay dos tipos de permutaciones de subportadoras aplicados a la estación base BS las cuales son: diversidad y permutaciones contiguas. Diversidad para elaborar subportadoras de una manera aleatoria cuando se forma un subcanal y ofrece una diversidad de frecuencia. Permutaciones contiguas denominada codificación y modulación adaptativa AMC (*adaptive modulation and coding*) en la terminología WiMax es un grupo de bloques contiguos de subportadoras que forman subcanales. Estas permutaciones AMC habilitan la diversidad multiusuarios a la hora de elegir subcanales para la transmisión desde o hacia un usuario específico.

Estas permutaciones son muy adecuadas para entornos de aplicaciones fijas, portátiles o de baja movilidad. OFDMA soporta una amplia gama de anchos de banda, flexible para hacer frente a la necesidad de los direccionamientos de espectro y los requisitos de uso de distintos modelos de estructura.

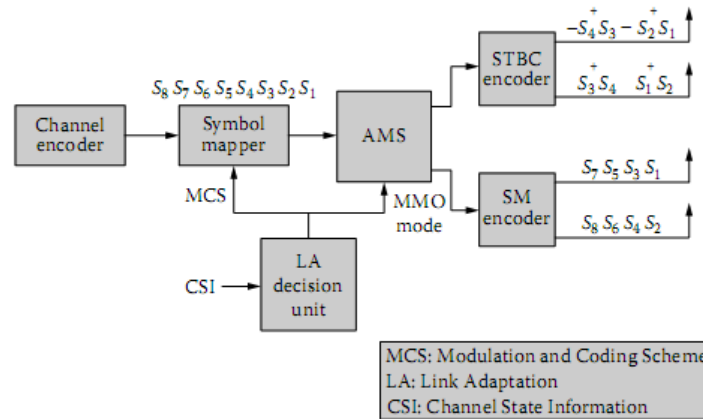
3.5. MIMO para WiMax

Las técnicas de antenas múltiples constituyen uno de los medios más eficaces para aumentar la eficiencia espectral del sistema del canal de comunicación. Los enfoques de antenas múltiples suelen clasificarse en dos categorías: antenas inteligentes y técnicas MIMO.

En las técnicas de antenas inteligentes las estaciones base BS, generalmente vienen equipadas con dos o más antenas y determinan el llamado peso de la antena para ambos enlaces, ascendente para la recepción y transmisiones descendentes mejoradas. Por otro lado, las técnicas MIMO requieren que el equipo receptor esté equipado con más de dos antenas, lo cual ofrece la posibilidad de transmitir sus propios códigos de tiempo-espacio para aumentar el rendimiento del enlace o más de un flujo de datos multiplexado, lo que lleva a un aumento del rendimiento del enlace en comparación con los sistemas tradicionales de antenas inteligentes.

Para habilitar el uso de las dos características más favorables de los dos modos MIMO la tecnología WiMax permite cambiar de adaptación entre bloques de codificación espacio tiempo y multiplexación espacial dependiendo de la condición instantánea de enlace. Esta operación se denomina conmutación adaptativa MIMO, AMS (*adaptive MIMO switching*) y como se muestra en la figura 45 se debe considerar como parte de la adaptación de enlace típicamente aplicada a sistemas inalámbricos de comunicación en el transmisor-receptor BS.

Figura 45. Concepto de AMS en WiMax



Fuente: ZHANG, Yan; CHEN, Hsiao-Hwa. *Mobile WiMax Toward broadband wireless metropolitan area Networks*. p. 99.

De esta manera la tecnología WiMax especifica los mecanismos apropiados para la operación de la tecnología MIMO, lo cual lo hace un sistema muy eficiente.

3.6. Redes celulares basadas en IPV6

El siguiente paso hacia una mayor movilidad parece ser el funcionamiento entre diferentes tecnologías de acceso, es decir la convergencia entre redes. Una vez más los protocolos de internet (IP) parecen ser los más dominantes detrás de la convergencia de las tecnologías de acceso, usando IP como una tecnología común para la conectividad entre distintas redes se logra una movilidad más fluida entre redes.

En telecomunicaciones la voz y los mensajes de texto se han convertido en los servicios más populares, pero el internet ha demostrado que hay muchos otros servicios que pueden ser muy utilizados por los usuarios, como el intercambio de archivos y los juegos, los cuales ya forman parte del tráfico en telecomunicaciones.

3.6.1. Limitaciones de IPv4

La versión actual de protocolos de internet conocida como IPv4 no ha cambiado mucho en los últimos años, IPv4 ha demostrado ser robusta pero también fácil de implementar y se ha resistido al escalonamiento de una red interna a una red global como la del tamaño del actual internet. Algunas de las debilidades que posee IPv4 son:

- Proporcionar direcciones de reenvío a los dispositivos móviles para volver a conectarse a la red.
- Proporcionar buenas facilidades de autenticación, los cuales tienen que informar la infraestructura de enrutamiento sobre la nueva ubicación de los móviles.
- Habilitar los móviles para determinar si la nueva red a la que se conectan es la misma que la red anterior.

3.6.1.1. Espacio de direcciones en IPv4

El reciente crecimiento exponencial del internet es causa del inminente agotamiento del espacio de direcciones IPv4. Aunque el espacio de direcciones de 32 bits en IPv4 permite 4,294,967,296 direcciones (2^{32}), las asignaciones actuales limitan el número de direcciones públicas a unos cuantos cientos de millones. Como resultado las direcciones IPv4 se han agotado, lo que obligó a muchos usuarios y organizaciones a usar un traductor de direcciones de red NAT (*network address translators*) para asignar una única dirección IPv4 publica a múltiples direcciones IPv4 privadas.

Aunque NAT promueve la reutilización del espacio de direcciones privadas, viola el principio fundamental del diseño original de internet, en el que todos los nodos tienen una única y global dirección para acceder, evitando una conexión de extremo a extremo. Además el crecimiento de los dispositivos conectados a internet asegura que el espacio de direcciones IPv4 acabarán agotándose.

3.6.1.2. Configuración en IPv4

La mayoría de implementaciones de la actual IPv4 deben ser configuradas manualmente o utilizando un protocolo de configuración de direcciones de estado como DHCP (*dynamic host configuration protocol*).

Con el número de dispositivos en aumento que utilizan IP, hay necesidad de una más sencilla y automática configuración de direccionamiento y otras opciones de configuración que no tomen como base la administración de una infraestructura DHCP.

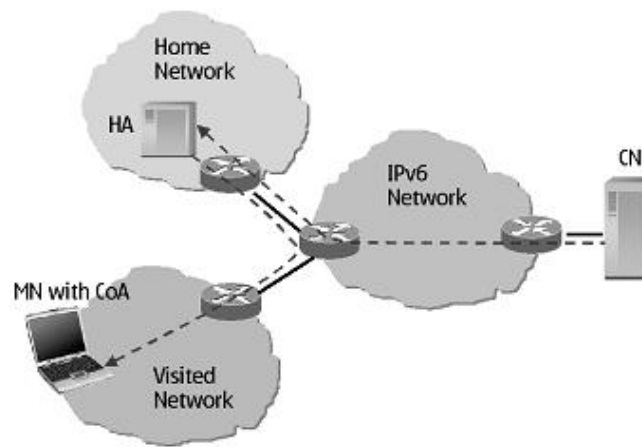
3.6.2. Introducción a IPv6

El protocolo de internet versión 6 más conocido como IPv6, es el conjunto de características que sustituye a la IP de 32 bits, con un nuevo espacio de direccionamiento de 128 bits. Además de brindar un mayor espacio de direccionamiento IPv6 proporciona soporte integrado para mejorar la calidad de servicio, seguridad y movilidad, la IPv6 elimina la necesidad de direcciones IP privadas y del uso de NAT debido a su enorme espacio de direccionamiento, 2^{128} posibles espacios de direccionamiento, es decir que a cada equipo terminal se le puede asignar una o incluso varias direcciones globales IPv6.

El problema de movilidad que tiene IP es que cuando una IP se mueve a un nodo de acceso distinto, tiene que cambiar su dirección IP para reflejar su nuevo punto de acceso. Estos problemas pueden solucionarse con IPv6 debido a sus 128 bits de direccionamiento, que proporcionan un número extremadamente grande de direcciones únicas, las cuales serán muy necesarias en telecomunicaciones para dispositivos móviles.

Dispositivos como teléfonos móviles tendrán su propia dirección IP, algo que con IPv4 no puede lograrse debido a su agotamiento de direcciones. Y no solo los dispositivos de telecomunicaciones tradicionales pueden tener su IP, prácticamente cualquier aparato eléctrico puede ser equipado con un chip de comunicación lo cual le permitirá conectarse a internet.

Figura 46. **Red basada en IPv6**

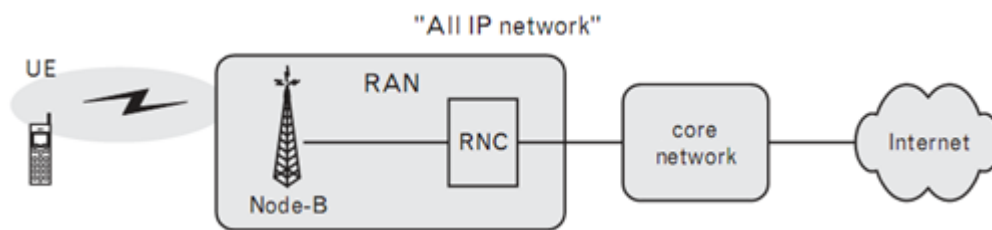


Fuente: DAVIES Joseph. *Understanding IPv6*. p. 6.

Desde el punto de vista industrial, la falta de direcciones libres es visto como algo bueno porque obliga a internet a probar la nueva versión mejorada de su protocolo, que también toma en cuenta los problemas de movilidad. El objetivo principal es crear una red todo IP donde los protocolos IP sean utilizados en cada nodo del equipo terminal hacia el servidor de internet.

El principio de una red todo IP significa que todos los datos del usuario, incluyendo voz, son enviados en paquetes de datos IP a través de una interfaz de radio. Una característica interesante de IPv6 es que puede coexistir con IPv4.

Figura 47. Red todo IP



Fuente: KORHONEN, Juha. *Introduction to 3G mobile communications*. p. 418.

Una conexión IPv6 de extremo a extremo se puede proporcionar a través de redes IPv4 porque los paquetes IPv6 se pueden encapsular en paquetes de menor capacidad IPv4. Una representación de una dirección IPv6 se muestra a continuación:

xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx

Donde cada x representa un dígito hexadecimal y el rango de direcciones va desde:

0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:

Hasta,

FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF.

Hay otras dos posibles formas que se podrían utilizar para representar de una manera mucho más práctica una dirección de 128 bits, una de ellas es omitiendo los ceros a la izquierda.

Por ejemplo:

1050:0000:0000:0000:0005:0600:300 c: 326b

Se puede escribir como:

1050:0:0:0:5:600:300 c: 326b

También se pueden utilizar dos puntos dobles (::) para representar una serie de ceros.

Por ejemplo:

FF06: 0:0:0:0:0:0: c3 se puede escribir como FF06:: c3

Dos puntos dobles se pueden utilizar una sola vez en una dirección IP, el nuevo espacio de direcciones es la característica más importante de IPv6, el cual soluciona el problema de agotamiento de direcciones IP que tiene actualmente IPv4, pero hay otro aspecto muy importante que hay que tener muy en cuenta, IPv6 da una solución al problema de movilidad.

El nuevo protocolo permite que un nodo IPv6 se pueda cambiar de red manteniendo su conexión existente, esto no se logra modificando la capa de transporte, si no por la manipulación de los cambios de direcciones en la capa de internet a través de IPv6 móvil.

Esto es muy importante en telecomunicaciones ya que los equipos terminales continuamente están en movimiento y cambiándose de área de cobertura de una estación base, IPv6 garantiza la entrega correcta de datos independientemente de la ubicación del nodo móvil.

3.6.3. IPv6 móvil

La nueva versión de protocolo de internet permite que un nodo móvil pueda cambiar arbitrariamente su ubicación dentro de una red IPv6 y seguir manteniendo sus conexiones existentes. Cuando un nodo IPv6 cambia su ubicación también podría cambiar su enlace, cuando un nodo IPv6 cambia su enlace su dirección IP también cambia, con el fin de mantener la conectividad.

Existen mecanismos para permitir los cambios de direcciones al moverse a un enlace diferente, con estado y configuración automática de direcciones sin estado para IPv6. Sin embargo, cuando cambia la dirección de las conexiones existentes en un nodo móvil que está usando las direcciones previamente asignadas al enlace, estas conexiones no pueden mantenerse y terminarán.

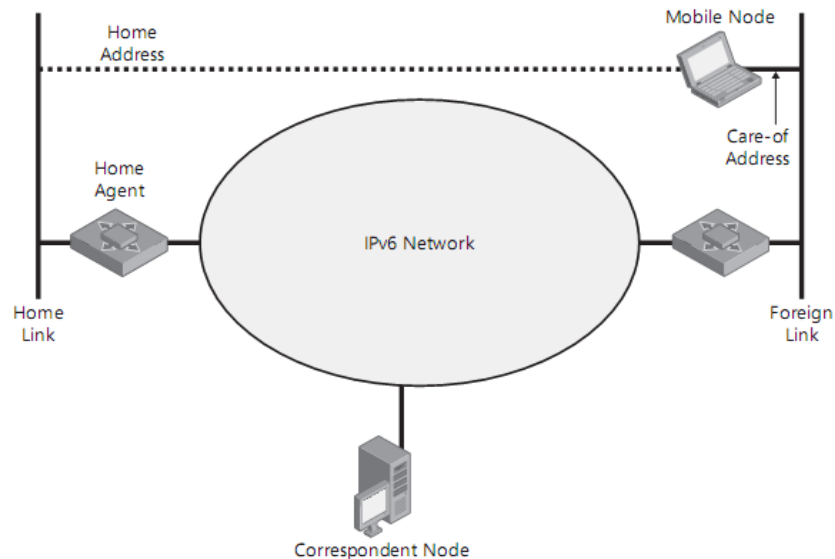
El beneficio principal de IPv6 móvil es que aunque el nodo móvil cambie de lugar y dirección, las conexiones existentes a través de las cuales el nodo móvil se está comunicando, se mantienen.

Para lograr esto, las conexiones a nodos móviles se hacen con una dirección específica que siempre se asigna al nodo móvil, a través del cual el nodo móvil siempre está accesible. IPv6 móvil proporciona una conexión de supervivencia en la capa de transporte para cuando un nodo se mueva de un enlace a otro pueda mantener su dirección.

3.6.4. Componentes de IPv6 móvil

En la figura 48 se puede observar los componentes de una IPv6 móvil como los nodos móviles, nodo central, enlaces y la red IPV6, a continuación se detallan más a fondo estos componentes.

Figura 48. Componentes de IPv6 móvil



Fuente: DAVIES Joseph. *Understanding IPv6*. p. 454.

3.6.4.1. Enlace de inicio

El enlace de inicio (*home link*) es el enlace que es asignado al prefijo de la subred de inicio, del cual el nodo móvil obtiene su dirección permanente. El agente inicial se encuentra en el enlace de inicio.

3.6.4.2. Dirección permanente

Una dirección permanente (*home address*) es una dirección asignada al nodo móvil cuando este se encuentra conectado al enlace de inicio y por medio de la cual el nodo está siempre accesible a una red IPv6 independientemente de su ubicación.

3.6.4.3. Agente inicial

Un agente inicial (*home agent*) en este caso un *router* en el enlace de inicio es el encargado de mantener los registros de los nodos móviles y las distintas direcciones que se están usando. Si el nodo móvil está muy lejos del punto de origen este registra la dirección que está utilizando en el agente inicial. En otras palabras almacena información sobre el nodo móvil cuya dirección permanente es la de la red del agente.

3.6.4.4. Nodo móvil

Un nodo móvil (*mobile node*) en una red IPv6 es un nodo que cambia de enlace y por este mismo motivo su dirección. Un nodo móvil tiene conciencia de su dirección permanente y de su dirección global para el enlace con el cual está conectado (conocida como dirección dinámica).

En telecomunicaciones esta es la solución para los usuarios que utilizan equipos móviles, ya que estos se mueven del radio de cobertura de una estación base a otra, con IPv6 móvil un equipo terminal podría cambiarse de estación base ya que conservaría la misma dirección global y mantendría las conexiones existentes aunque el usuario este en movimiento.

3.6.4.5. Dirección dinámica

Una dirección dinámica (*care-of address*) es una dirección usada por un nodo móvil mientras está conectada a un enlace exterior, a un nodo móvil se le pueden asignar múltiples direcciones dinámicas, sin embargo, sólo una dirección dinámica se registra como dirección primaria en el agente inicial del nodo móvil. Es decir, es una dirección respecto al nodo móvil cuando visita la red.

3.6.4.6. Nodo correspondiente

Es un nodo IPv6 que se comunica con un nodo móvil, un nodo correspondiente no tiene que ser móvil con capacidad IPv6, si el nodo es móvil con capacidad IPv6 también puede ser un nodo móvil que está lejos de la red.

3.6.5. Ventajas de IPv6 en telefonía móvil

IPv6 ofrece un mecanismo eficiente y escalable para nodos móviles dentro de la red global de internet, con IPv6 móvil los nodos pueden cambiar sus puntos de acceso a internet sin tener que cambiar su dirección IP. Esto permite mantener el transporte y conexiones de alto nivel mientras el nodo se mueve.

La IPv6 móvil se encuentra frecuentemente en redes inalámbricas donde los usuarios se mueven a través de varias redes, pero también, se puede usar en redes 3G/4G para mantener la conexión cuando los usuarios de internet migran hacia distintas antenas de telefonía.

Algunas aplicaciones como VoIP (voz sobre IP) pueden presentar problemas por cambios repentinos en la red y en la dirección IP, por aplicaciones como esta IPv6 móvil da una solución muy práctica y así brindar servicios de buena calidad.

Algunas de las características que hacen que IPv6 se acople perfectamente a las necesidades actuales de telefonía móvil se presentan a continuación:

- Su gran espacio de direccionamiento de 128 bits permite que cada equipo móvil pueda tener su relación global única, ideal para teléfonos celulares.
- No tiene necesidad de conexión física.
- No tiene limitaciones geográficas, por lo que el usuario puede conectarse en cualquier lugar.
- Necesita velocidades de transferencia altas, lo que hace que se acople perfectamente con redes 4G.
- No tiene que modificar enrutamientos o terminales ya que conserva su Su dirección IP .
- No afecta a los protocolos de transporte ni a los de alto nivel.
- Soporta seguridad para garantizar la protección de los usuarios.

Las tecnologías de telefonía celular 4G traen muchos avances tecnológicos que no parecen tener límites, se logran grandes velocidades de transferencias de datos gracias a las nuevas tecnologías que implementa. Con el desarrollo del nuevo protocolo de internet IPv6 las redes 4G pueden tener una dirección IP única para conectarse a una red global, se esperan avances significativos en redes de telefonía celular 4G.

4. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELEFONÍA CELULAR

Para actualizar la red ya existente 3G a 4G en Guatemala, se deben tener en cuenta muchos factores económicos muy importantes, debido a la demanda de los usuarios por nuevos y mejores servicios de datos con una mayor velocidad se deben implementar nodos 4G.

En el mercado guatemalteco ya se pueden encontrar terminales telefónicas compatibles con redes 4G, debido a este avance acelerado en la tecnología de telefonía celular las empresas en Guatemala han implementado el uso de nodos 4G para satisfacer las demandas actuales.

En este capítulo se tomará como ejemplo el sitio celda estándar que puede ser implementado en cualquier parte de Guatemala en donde se puede hacer un análisis financiero comparando los costos de implementación del sitio con tecnología 3G hasta su actualización con equipos compuestos por tecnología 4G, esto con el fin de demostrar que los costos de implementación de un sitio 4G son menores a los actuales costos de celdas ya implementadas con tecnologías de tercera generación.

4.1. Evaluación de costos con tecnología 3G

Se puede iniciar mencionando que existen dos casos los cuales pueden presentarse cuando se quiere instalar una nueva celda en una red de telefonía móvil, en los cuales los costos de instalación varían, los casos se detallan a continuación:

- Instalar una celda completamente nueva
- Actualizar una celda ya existente

El primer caso es en donde se desea implementar una celda totalmente nueva, en algún punto donde se quiera ampliar la cobertura de la red o cubrir un punto muerto en donde por motivos geográficos no se brinda una buena cobertura de telefonía móvil.

El segundo caso es cuando ya se cuenta con una celda instalada pero se necesita migrar a otra tecnología, como el caso que actualmente está ocurriendo en Guatemala donde se están migrando los nodos 3G a tecnología 4G para brindar los servicios de por ejemplo internet móvil 4G, video llamadas con terminales telefónicas que poseen la capacidad de realizarlo, entonces para hacer una evaluación de costos se tomará en cuenta ambos casos para ver los costos reales al implementar un nodo 3G, a este proceso se le conoce también como cambio (*swap*).

4.1.1. Costos de implementación de una celda 3G

Al momento de implementar una celda totalmente nueva el departamento encargado de radio frecuencia decide el lugar exacto en donde se desea implementar dicha celda para ampliar la cobertura, teniendo el lugar exacto en donde se implementará el nuevo nodo 3G, entonces se debe empezar a evaluar los costos que lleva la instalación de esta nueva celda.

En la tabla II se puede observar de una mejor manera los gastos tanto en dólares como su equivalente en quetzales que lleva la implementación de una celda de telefonía móvil totalmente nueva.

Tabla II. Costos de una celda 3G

Celda nueva		
Costos		
Moneda	\$	Q
Obra civil	50 000,00	390 000,00
Equipos de RF	50 00,00	390 000,00
Transmisión	21 000,00	163 800,00
Equipo radiante	8 562,00	66 783,60
Energía	20 500,00	159 900,00
Gasto Total	150 062,00	1 170 48,60

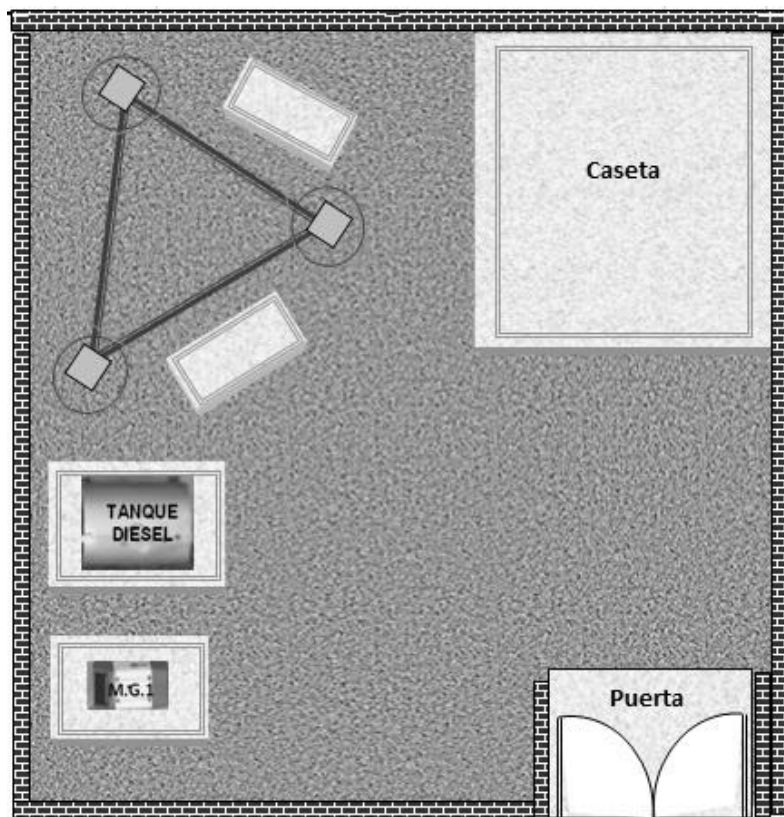
Fuente: Telefónica LATAM.

Estos son los costos reales de todos los componentes necesarios para la implementación de una celda con tecnología 2G y 3G, recordando que toda nueva tecnología debe ser compatible con la tecnología anterior.

4.1.1.1. Componentes de obra civil

Dentro de los gastos de obra civil se puede mencionar que al construir una celda totalmente nueva se debe invertir en infraestructura, en la figura 50 se puede observar la obra civil de una celda a implementarse, la cual consta de un muro perimetral, la fundición de las bases para colocar la torre, una caseta de terraza y bases de concreto para colocar el equipo de radio frecuencia que generalmente van cerca de la torre, un motogenerador, un tanque de combustible y la puerta de acceso a la celda.

Figura 49. **Obra civil**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

Dentro de los Q390 000,00 que se utilizan para obra civil también se incluye el sistema de puesta a tierra de la torre y de todos los equipos que se encuentran a nivel del suelo, el poste donde se va a realizar la acometida eléctrica para brindarle energía a la celda.

4.1.1.2. Equipo de radio frecuencia 3G

Estos equipos son los encargados de enviar la señal de radio frecuencia a través de cable coaxial o una guía de onda hacia el equipo radiante, para que la señal sea transmitida en una determinada frecuencia y a una potencia establecida, estos equipos siempre están presentes en una celda de telefonía y su ubicación es a nivel del suelo ya que son de un tamaño robusto y contiene un sistema de baterías propio para brindarle energía si en algún momento faltara energía eléctrica por parte de la red comercial y así seguir desempeñando su función bajo cualquier condición, por lo importante de estos equipos tienen un precio elevado el cual es de Q390 000,00.

4.1.1.3. Equipo de transmisión 3G

En una red de telefonía se necesita tener todas las celdas en un conjunto interconectado y para eso es necesario el equipo de transmisión, el equipo de transmisión está formado por el repetidor para transmisiones analógicas y regeneradoras en caso de transmisiones digitales.

Estos equipos se encargan de mantener conectada la celda con las otras celdas y así de esta manera forman la red, recordando que una celda 3G es compatible con tecnologías anteriores como la 2G, el costo de estos equipos para una celda 3G es de Q163 800,00.

4.1.1.4. Equipo radiante 3G

El equipo radiante está compuesto por la antena necesaria para transmitir las ondas electromagnéticas que son recibidas por las terminales telefónicas, esta antena es colocada en la torre, la altura y dirección depende de punto que se requiera cubrir de cobertura o la dirección de la siguiente celda de telefonía para realizar un enlace con dicha celda, el costo de la antena para un sitio 3G sería de Q66 783,60 esto también incluye la instalación de la guía de onda o cable coaxial.

4.1.1.5. Energía

Los costos de energía son todos aquellos que deben realizarse para llevar energía comercial a la celda de telefonía, los costos de energía se desglosan en el pago hacia la empresa eléctrica de Guatemala, ya que ellos son los encargados de llevar una línea eléctrica de media tensión a la celda y si fuera necesario implementar postes para llevar la línea de media tensión, colocar un transformador con capacidad para abastecer de energía eléctrica la nueva celda.

El transformador que se coloca en una celda generalmente es de 10 kva y sólo este transformador tiene un costo de Q15 000,00. También se puede mencionar el costo de la acometida eléctrica hacia el poste ubicado en la celda el cual es de Q5 000,00, el costo de llevar la energía puede variar en cada celda dependiendo del lugar donde se encuentra pero toda la implementación tiene un costo de Q159 900,00 para llevar energía eléctrica a una nueva celda de telefonía.

4.1.2. Actualizar una celda a tecnología 3G

Para el caso en el que sólo se requiera actualizar una celda ya existente que sólo soporta tecnologías de segunda generación, los costos de implementación de tecnologías de tercera generación en esta celda sólo estarían formados por la implementación de los equipos de RF, transmisión y el equipo radiante, los gastos de obra civil y energía ya no aplican para este caso en particular.

Tabla III. Cambio a una celda 3G

Celda existente		
Costos		
Moneda	\$	Q
Equipos de RF	50 000,00	390 000,00
Transmisión	21 000,00	163 800,00
Equipo radiante	8 562,00	66 783,60
Gasto Total	79 562,00	620 583,60

Fuente: Telefónica LATAM.

4.2. Evaluación de costos con tecnología 4G

Al momento de implementar equipos de cuarta generación se debe recordar que estos son compatibles con las generaciones de tecnologías anteriores como la segunda y tercera generación, estos equipos están implementándose actualmente en Guatemala para actualizar la red 3G ya existente.

Los dos casos en los que se puede implementar una celda de cuarta generación son:

- Migrar una celda existente a tecnología 4G
- Implementar una celda completamente nueva 4G

Una de las ventajas de estos equipos es su tamaño reducido lo que permite ser instalado en un poste para cubrir un área geográfica más pequeña o en lugares donde no es posible implementar una celda convencional debido a la urbanización, esto reduce significativamente los costos de ampliación de cobertura con tecnología 4G, solamente gracias a su tamaño reducido, aportando un tercer método.

- Ampliación de cobertura en instalación en poste

Esta es una de las ventajas más destacadas sobre los equipos de cuarta generación, otra ventaja es el consumo de energía sumamente reducido lo cual representa un costo menor al usar estos equipos, esto se detallará más adelante.

4.2.1. Costos de implementación de una celda 4G

Para implementar una celda totalmente nueva con equipos de cuarta generación se debe tener el punto exacto en donde se desea implementar la cobertura de esta nueva generación de tecnología, el departamento de radio frecuencia es el encargado de proporcionar dicha información.

Teniendo ya definido el lugar exacto en donde se desea implementar una celda totalmente nueva con equipo de cuarta generación, se deben tomar en cuenta los siguientes costos que se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. Costos de una celda 4G

Celda nueva		
Costos		
Moneda	\$	Q
Obra civil	50 000,00	390 000,00
Equipos de RF	32 500,00	253 500,00
Transmisión	15 700,00	122 460,00
Equipo radiante	8 000,00	66 300,00
Energía	20 500,00	159 900,00
Gasto Total	126 700,00	988 260,00

Fuente: Huawei Mobile.

En la tabla IV se pueden observar los costos de los equipos con tecnología 4G y son considerablemente menores a los equipos con tecnología 3G esto debido al diseño eficientemente reducido de estos nuevos equipos en donde se han minimizado los costos.

4.2.1.1. Obra civil

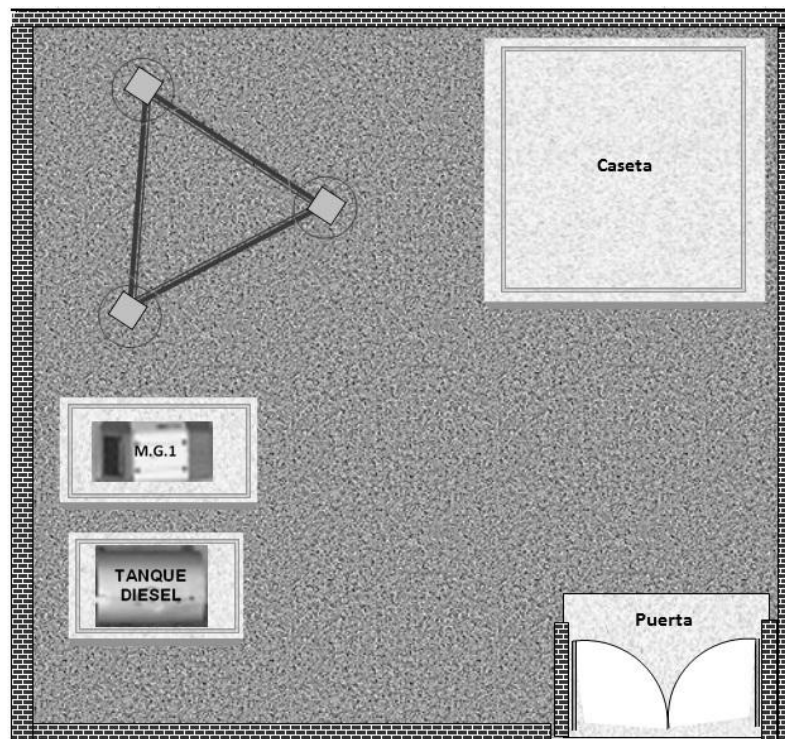
Dentro de los gastos de obra civil para tecnologías 4G se puede encontrar los Q390 000,00 los cuales son costos muy similares a los utilizados para obra civil en un sitio 3G, esto se debe a que la infraestructura de una celda 4G es casi idéntica a infraestructura de una celda 3G.

La obra civil en este caso está compuesta por un muro perimetral generalmente de 12 x 15 metros, aunque las dimensiones pueden variar en cada celda, una caseta de terraza para brindarle protección a los equipos de transmisión o comúnmente llamados equipos de interior, en la caseta también se puede encontrar la transferencia que es la encargada de alternar entre la energía comercial y la proporcionada por el motogenerador en caso de haber un corte en la red de energía comercial, esto es de manera automática y lo realiza la transferencia que no es nada más que un conmutador de energía.

La fundición de concreto para colocar un motogenerador y el valor del tanque de combustible también forman parte de la infraestructura de obra civil, la base de concreto asegura que el tanque de combustible se sujetara de manera segura al suelo.

La fundición de las bases para colocar los tres pilares de la torre también se incluyen dentro de los gastos de obra civil, estas bases llevan un trabajo muy exigente ya que se tiene que cavar profundo para luego fundir un bloque de concreto para colocar un pilar de la torre y el factor climatológico en algunas ocasiones puede retrasar el trabajo debido a que no se puede realizar si está lloviendo ya que representa un gran peligro para las personas que realizan dicha labor.

Figura 50. **Obra civil 4G**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

En la figura 50 se puede notar que ya no necesitan fundir las bases de concreto para los equipos 2G y 3G que están a nivel del suelo, esto debido a que al implementar una celda totalmente nueva con tecnología 4G el equipo de transmisión ubicado dentro de la caseta posee la capacidad de brindar los servicios 2G y 3G mediante un sistema de tarjetas.

Dentro de la obra civil se encuentra también la construcción de un poste para realizar la acometida de energía, la cual proporcionará la energía para que la celda brinde el servicio deseado, la base de concreto para colocar el motogenerador para brindar energía en caso de que la red comercial sufra un corte de energía, también una base de concreto para colocar un tanque de combustible el cual alimenta el motogenerador y por último una puerta de acceso con el tamaño adecuado para que un vehículo pueda acceder a la celda sin ninguna dificultad.

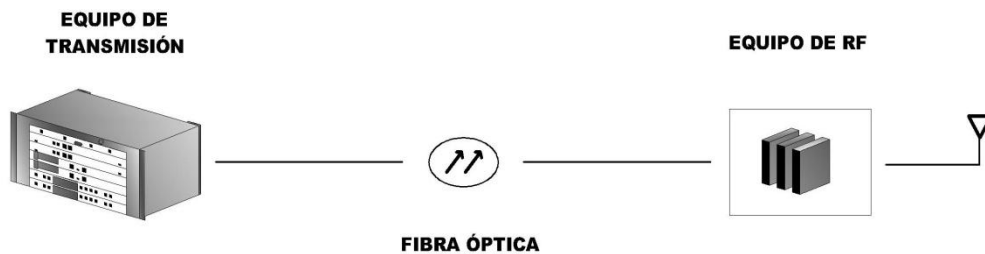
4.2.1.2. Equipo de radio frecuencia

El equipo de radio frecuencia para tecnologías de cuarta generación tiene un costo de Q253 000,00 y a diferencia de las tecnologías anteriores es de un tamaño reducido y se debe instalar justo detrás del equipo de radiación, entonces el equipo de radio frecuencia básicamente está compuesto por una unidad de radio remota o RRU por sus siglas en inglés, la cual se conecta a través de fibra óptica hacia el equipo de radiación y hacia el de equipo de transmisión, reduciendo considerablemente los costos ya que en tecnologías anteriores se utilizaba cable coaxial o guía de onda.

El uso de fibra óptica facilita la instalación de estos equipos debido a que la fibra óptica es mucho más flexible y de un peso mucho menor al cable coaxial o fibra óptica reduciendo el tiempo de instalación de los equipos de cuarta generación.

Otro dato importante que se debe mencionar es la reducción del robo de componentes, en Guatemala es muy común el robo del cable coaxial o guía de onda ya que estos contienen cobre lo cual los hace un blanco muy común por la delincuencia, el uso de fibra óptica reduce el riesgo de robo ya que no contiene cobre en su interior.

Figura 51. **Equipo de RF 4G**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

En la figura 51 se ilustra la poca complejidad de conexión de los nuevos equipos, así como, su reducido tamaño lo cual hace que la instalación sea mucho más simple que los equipos de tecnologías anteriores los cuales eran demasiado robustos.

4.2.1.3. Equipo de transmisión

En los costos de implementación de tecnología de cuarta generación se pueden encontrar Q122 460,00 el cual es el costo por el equipo de transmisión, la novedad de este equipo es su tamaño reducido y es capaz de soportar tecnologías 2G y 3G todo esto basado en su sistema de tarjetas, en donde por ejemplo si la tecnología 2G presenta algún problema simplemente se reemplaza la tarjeta y se coloca una nueva con la misma configuración y se soluciona el inconveniente, lo mismo para la tecnología de tercera generación.

Este nuevo diseño de equipos con un tamaño muy reducido en comparación con los equipos anteriores es una de las más novedosas ventajas y otra novedad es que son libres de mantenimiento, con tecnologías de tercera generación se tenía una BTS capaz de transmitir a una banda de frecuencia, se necesitan dos bandas se contaba con dos BTS robustas las cuales son instaladas a la intemperie y debido a esto necesitan un mantenimiento preventivo cada cierto período de tiempo para evitar daños a los equipos, desde una limpieza hasta cambio de componentes, todo esto es un costo de operación de la celda.

Figura 52. **Equipo de transmisión 4G**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

En la figura 52 únicamente con un fin ilustrativo se puede ver un ejemplo del diseño de un equipo de transmisión que utiliza tecnología de cuarta generación.

4.2.1.4. Equipo radiante

Los costos para el equipo radiante con tecnologías de cuarta generación que se deben tener en cuenta dentro del presupuesto son de Q66 300,00 lo cual es únicamente el valor de la antena necesaria para radiar ondas electromagnéticas y brindar este servicio en un área determinada.

El diseño de la antena no varía mucho a comparación de otras usadas en tecnologías anteriores, la altura a la cual se coloca dicha antena depende de los datos proporcionados por el Departamento Técnico de Ingeniería de Radiofrecuencia, este departamento también decide la dirección exacta a la cual se debe colocar el equipo radiante.

Figura 53. **Equipo radiante 4G**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

En la figura 53 se muestra una antena, esta antena se conecta con el equipo de transmisión que se instala en la parte posterior y queda a no más de dos metros de distancia de la antena y se conecta mediante fibra óptica y no con cable coaxial o guía de onda como en tecnologías anteriores, lo que facilita la instalación y reduce el tipo de implementación de estos nuevos equipos.

4.2.1.5. Energía

Los costos de implementación de energía para un sitio con tecnología de cuarta generación son de Q159 900,00 el cual es uno de los costos más elevados para implementar una nueva celda en la red de telecomunicaciones, este costo incluye el pago a la empresa eléctrica de Guatemala debido a que ellos son los únicos que pueden realizar la instalación de todos los componentes necesarios para realizar la acometida eléctrica en la nueva celda de telefonía.

Dentro de los costos de energía se puede mencionar la instalación de un poste que lleva una línea de media tensión hacia dicha celda de telefonía el cual queda a pocos metros para que se pueda realizar la acometida, solo el poste tiene un valor de Q20 000,00 sin incluir gastos de instalación, adicionalmente se debe instalar en dicho poste un transformador con capacidad de 10 Kva para alimentar dicha celda de telefonía, este transformador tiene un valor de Q15 000,00 sin incluir gastos de instalación, los cuales pueden variar dependiendo del lugar donde esté ubicada la celda de telefonía.

La acometida eléctrica que es la conexión hacia el poste tiene un valor de Q5 000,00 sólo por realizar esta instalación, los gastos de energía abarcan todo lo necesario para alimentar de energía eléctrica una determinada celda de telefonía de cuarta generación, los costos no varían en comparación a los costos de energía de una celda de tercera generación pero si hay un ahorro energético el cual se detallará más adelante.

Los gastos de energía abarcan todos los componentes para que una determinada celda tenga energía eléctrica, desde la instalación del posteo para llevar una línea de media tensión con un transformador de 10 Kva, la acometida hacia el poste de dicha celda, el contador, así como, la instalación del tablero donde se colocan dispositivos como fusibles o interruptores y en el cual se interconectarán todos los equipos ubicados en esta celda.

Toda la parte de iluminación de la caseta y la iluminación exterior también forman parte de los costos de energía, sensores sensibles a la luz para encender la iluminación exterior ya que funciona de manera automática, la electrificación de seguridad para evitar el acceso a delincuentes, toda la parte del cableado desde el contador hasta la caseta el cual es subterráneo y esto lleva costos de tuberías, la barra de cobre para aterrizar todos los equipos para protegerlos contra cualquier descarga electroatmosférica, la iluminación de la torre, los gastos totales de energía los cuales incluyen instalación y materiales son de Q159 900,00.

4.3. Instalación de equipos 4G en poste

Otra ventaja de los equipos de cuarta generación es que debido a su tamaño reducido pueden ser instalados en postes, si se desea ampliar la cobertura en algún lugar en donde por la urbanización ya no se cuenta con un espacio para implementar una celda se tiene la opción de implementar un poste o simplemente si se desean minimizar costos, esta es una de las ventajas al utilizar equipos de telefonía celular de cuarta generación.

La instalación de equipos de telefonía en postes reduce significativamente los costos de implementación, en la tabla V se pueden observar los costos al implementar una instalación en poste.

Tabla V. **Instalación en poste**

Poste		
Costos		
Moneda	\$	Q
Obra Civil	12 000,00	93 600,00
Equipos de RF	32 500,00	253 500,00
Transmisión	15 700,00	122 460,00
Equipo radiante	8 000,00	62 400,00
Energía	15 000,00	117 000,00
Gasto Total	83 200,00	648 960,00

Fuente: Telecomunicaciones de Guatemala S.A.

La instalación en poste está siendo muy utilizada ya que como se puede verificar en la tabla V la reducción de costos en obra civil es muy grande especialmente si se desea ampliar de cobertura un área geográfica pequeña, o si no es posible implementar un sitio convencional, esto es posible gracias a los nuevos equipos con un tamaño reducido.

Los equipos de radio frecuencia y transmisión no varían en precio debido a que únicamente son una variante en el diseño de los mismos para que puedan soportar ser instalados a la intemperie, el proveedor ofrece esta opción manteniendo los precios en sus equipos de telecomunicaciones, este tipo de instalación es muy utilizada principalmente por la reducción de costos.

4.3.1. Obra civil

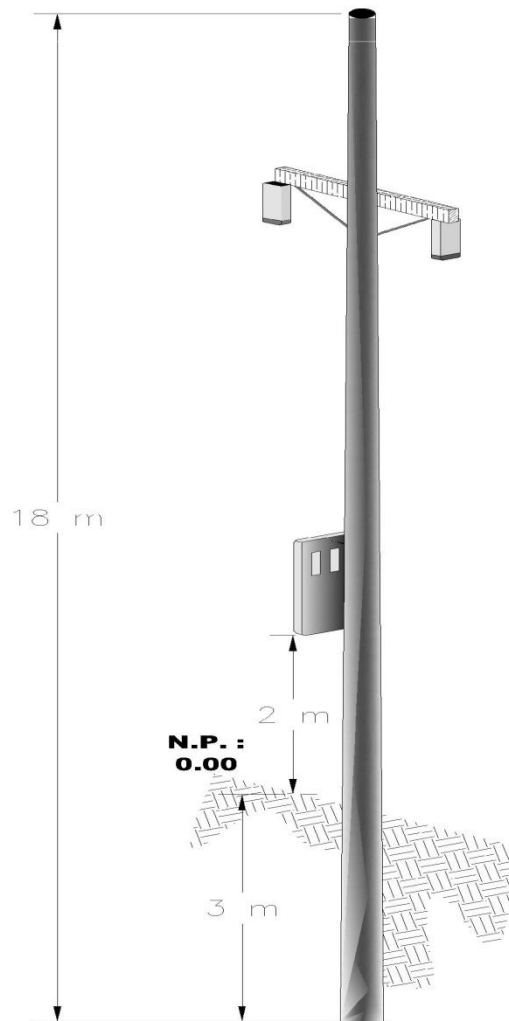
Con los equipos de cuarta generación es posible realizar instalaciones en postes debido al tamaño reducido de estos equipos, este tipo de instalación trae muchos beneficios siendo los dos más importantes la reducción de costos de implementación y que se puede instalar en lugares en donde no se puede implementar una celda convencional.

El costo de obra civil para implementar un poste para uso en telefonía es de Q93 600,00, la longitud del poste estándar para este tipo de uso es de 18 metros de los cuales 15 metros están en la superficie. En la figura 55 se muestra una instalación en poste únicamente con fin ilustrativo.

Los costos incluyen la instalación del poste y todos los accesorios para anclar los equipos de cuarta generación al poste, así como, los componentes adecuados para realizar la acometida eléctrica, es decir, su tablero principal de donde alimentarán todos los equipos de telecomunicaciones recordando que todos estos componentes están diseñados para soportar factores climatológicos ya que estarán a la intemperie.

En la figura 55 se puede ver que el tablero principal está ubicado a 2 metros desde el nivel de piso (N.P.) se coloca a esta altura para evitar que personas particulares tengan un fácil acceso al tablero de energía.

Figura 54. **Instalación en poste**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

El tiempo estimado para implementar un poste es de 5 semanas, cuatro semanas para la implementación del poste y una semana para la instalación de los equipos, este es el requisito pero los equipos de cuarta generación pueden ser instalados en menos tiempo gracias a su fácil implementación, ya no se tiene que fundir las cimentaciones, muro perimetral o caseta, entonces el tiempo de implementación se reduce significativamente.

4.3.2. Energía

Los costos de energía para una instalación en poste son mucho menores a los de una celda convencional, esto debido a que únicamente abarca lo que es el pago de la acometida eléctrica, el transformador de capacidad de 10 Kva para brindarle energía a los equipos de cuarta generación instalados en el poste, los gastos de energía en este caso también incluyen todos los componentes necesarios para proveer de energía desde el cableado hasta las abrazaderas de poste para sujetar todos los accesorios de energía.

Una de las novedades en energía es el bajo consumo de estos nuevos equipos que representa un ahorro muy grande en gastos de operación, los gastos en la implementación de energía para poste son de Q177 000,00 donde se incluye el pago a la Empresa Eléctrica Guatemalteca.

4.4. Análisis de ahorro energético

Al implementar equipos de cuarta generación en la red de telefonía uno de los grandes beneficios que se obtienen es el ahorro energético en los costos de operación, estos costos de operación son los costos mensuales necesarios para mantener activa una celda de telefonía, dentro de estos costos también se pueden mencionar los costos de mantenimiento para celdas de tercera generación, ya que sus equipos necesitan un mantenimiento periódico para garantizar su buen funcionamiento en todo momento.

Los costos energéticos son básicamente el consumo de corriente que los equipos de telecomunicaciones necesitan para realizar su función, es decir el equipo radiante, el equipo de radio frecuencia y los equipos de transmisión necesitan estar energizados, además del consumo de los equipos de telecomunicaciones se tiene el consumo energético de la iluminación de la torre, la iluminación exterior e interior en la celda y el consumo energético de las transferencias en el caso de tener un motogenerador en dicha celda de telefonía celular, todos estos equipos representan los costos de operación de energía.

4.4.1. Consumo energético 3G

En esta sección se muestra el consumo energético en una celda de telefonía celular con equipos de tercera generación, se incluye el consumo energético total de la celda la cual incluye la iluminación interior y exterior así como, el consumo de los equipos de telefonía.

Tabla VI. Consumo energético 3G

Celda 3G	Potencia
Consumo mínimo	2 400 W
Consumo máximo	3 600 W
Promedio	3 000 W

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI se puede observar el consumo total en watts de un sitio típico con tecnologías de tercera generación, el consumo mínimo es durante el día donde no se incluye la iluminación, el consumo máximo se obtiene durante la noche con toda la iluminación encendida, en promedio se obtiene un consumo de 3 000 watts si se habla de potencia o 25 amperios en consumo de corriente, los equipos son energizados con 120 voltios de corriente alterna, se debe mencionar que los equipos funcionan con corriente continua por esto mismo los equipos poseen sus propios rectificadores para convertir la corriente alterna a corriente continua.

El mayor consumo se obtiene en los equipos de radio frecuencia, tomando únicamente la medición de los equipos de radio frecuencia este consumo es de 10 amperios en total.

Para obtener la potencia consumida únicamente por los equipos de radio frecuencia se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia} = \text{voltaje} \times \text{corriente}$$

El consumo de los equipos de radio frecuencia es entonces;

$$\text{Potencia} = 120 \text{ volts} \times 10 \text{ amperios}$$

$$\text{Potencia} = 1\,200 \text{ watts}$$

La potencia consumida únicamente por los equipos de radio frecuencia de tercera generación es de 1 200 watts en total.

Los 1 200 watts restantes son los utilizados por el equipo de transmisión y el equipo radiante, el 50 % es consumido por el equipo de radio frecuencia. El consumo energético representa costos de operación ya que se debe pagar a la empresa eléctrica por los kilowatt consumidos.

El pago a la empresa eléctrica se realiza de la siguiente manera, personal de dicha empresa se hace presente para hacer las mediciones correspondientes y de esta forma pueden estar seguros de que el consumo energético es siempre el mismo, entonces según el consumo medido se establece una tarifa mensual fija para dicha celda.

4.4.2. Consumo energético 4G

En esta sección se muestra el consumo energético de una celda de telefonía celular con equipos 4G, al igual que en la sección anterior se muestra el consumo total en watts que la celda utiliza para su buen funcionamiento esto incluye equipos de radio frecuencia, equipos de transmisión, equipo radiante e iluminación.

Tabla VII. Consumo energético 4G

Celda 4G	Potencia
Consumo mínimo	1 344 W
Consumo máximo	2 544 W
Promedio	1 944 W

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII se puede observar el consumo mínimo en watts de la celda, esta se da en el día cuando no se encuentra activa la iluminación de la celda, el consumo de potencia máximo se obtiene en la noche cuando la celda cuenta con la iluminación de la torre e iluminación exterior activada. En promedio se obtiene un consumo total de potencia de 1 944 watts, o si se habla en términos de corriente 16,2 amperios de corriente, recordando que los equipos son energizados con 120 voltios de corriente alterna, la multiplicación de las dos cifras anteriores proporciona la potencia promedio total consumida en una celda de telefonía de cuarta generación.

El consumo de energético en los equipos de cuarta generación se ve reducido en comparación con celdas que utilizan equipos de tercera generación.

El equipo de radio frecuencia en los equipos de cuarta generación tienen un consumo menor de energía únicamente 1,2 amperios de corriente alterna, utilizando la ecuación para obtener la potencia en watts se obtiene:

$$\text{Potencia} = \text{voltaje} \times \text{corriente}$$

$$\text{Potencia} = 120 \text{ volts} \times 1,2 \text{ amperios}$$

El consumo del equipo de radio frecuencia es entonces:

$$\text{Potencia} = 144 \text{ watts}$$

El consumo de 144 watt es mucho menor a los 1 200 watt que consume este mismo equipo con tecnologías de tercera generación, la disminución del consumo energético se debe al diseño de los equipos de cuarta generación donde se reduce tamaño y consumo energético.

Los 1 200 watt restantes son utilizados por el equipo de transmisión y el equipo radiante, el consumo energético de estos equipos no varía significativamente comparado con el consumo energético de los equipo de tercera generación.

El bajo consumo de los equipos de cuarta generación aporta un importante ahorro en costos de operación ya que al momento de que la Empresa Eléctrica Guatemalteca llegue a realizar sus mediciones de consumo energético en una determinada celda con equipos de telefonía móvil de cuarta generación esta será mucho menor teniendo un ahorro mínimo garantizado de 35,2 % que puede ser mayor dependiendo del caso.

La empresa eléctrica establece su tarifa fija siempre del mismo método, se hace presente personal de la Empresa Eléctrica Guatemalteca y personal de la empresa privada de telecomunicaciones para realizar las mediciones correspondientes y hacer constar de que el consumo en la celda es constante para así establecer la cuota mensual a pagar por los kilowatts consumidos.

4.5. Análisis de costos

Al implementar equipos con tecnología de cuarta generación no sólo se obtienen nuevos y mejores servicios, anchos de banda mucho mayores para terminales telefónicas que crean una nueva experiencia en la telefonía móvil, también trae una reducción de costos de implementación y operación para las empresas de telecomunicaciones en Guatemala.

La reducción de costos en implementación y costos de operación le permite a las empresas de telecomunicaciones brindar los nuevos servicios de telefonía a precios accesibles para el usuario final, como el servicio de datos en telefonía móvil que es muy utilizado por los usuarios actualmente.

4.5.1. Comparación de costos de implementación

En la tabla II de la sección 4.1.1, se muestra el costo total de una celda de telefonía móvil con tecnología de tercera generación a implementarse y también el costo de migrar una celda con tecnología de segunda generación a una celda con equipos de tercera generación (sección 4.1.2 tabla III), en esta sección se realizará una comparación de costos de implementación de equipos de tercera generación y costos de implementación de equipos con tecnología de cuarta generación.

En la tabla VIII se pueden observar que los costos a evaluar, los costos en obra civil son prácticamente los mismos para un sitio de tercera generación y un sitio de cuarta generación ya que la infraestructura utilizada es casi la misma, los costos de implementación de energía en este caso es el mismo ya que el pago por llevar energía a nuestra celda es el mismo, los componentes utilizados como postes, transformador o componentes para la acometida eléctrica son prácticamente los mismos y por tal motivo los costos no varían.

Tabla VIII. **Comparación de costos**

Comparación de costos		
Celda Nueva		
	3G	4G
Moneda	Q	Q
Obra civil	390 000,00	390 000,00
Equipos de RF	390 000,00	253 500,00
Transmisión	163 800,00	122 460,00
Equipo radiante	66 783,60	66 300,00
Energía	159 900,00	159 900,00
Gasto Total	1 170 483,60	988 260,00

Fuente: Telefónica LATAM y Huawei Mobile.

Los costos de la implementación de una celda de telefonía celular con capacidad 4G como se muestra en la tabla VIII es más económica que una celda de telefonía celular con equipos de tercera generación, como ya se ha mencionado anteriormente estos nuevos equipos con un menor consumo energético, menor tamaño y menor precio son ideales para las empresas de telefonía celular en Guatemala.

En la tabla IX se comparan los costos de los equipos de radio frecuencia tanto para los equipos 4G como para los equipos 3G, sólo en estos equipos se puede ver una diferencia en el precio de los mismos, la cual es de Q136 500,00 este ya es un valor muy significativo al momento de realizar el presupuesto para la construcción de nuevas celdas de telefonía, no sólo por la reducción en el precio, también se reduce el tiempo de instalación de los equipos.

Tabla IX. **Ahorro en equipos**

Ahorro en equipos			
	3G	4G	Ahorro
Moneda	Q	Q	Q
Equipos de RF	390 000,00	253 500,00	136 500,00
Transmisión	163 800,00	122 460,00	41 340,00
Equipo radiante	66 783,60	66 300,00	483,60
Gasto Total	1 170 483,60	988 260,00	182 223,60

Fuente: elaboración propia

En la tabla IX de igual forma se puede observar que los equipos de transmisión de cuarta generación presentan un ahorro de Q41 340,00 respecto al equipo de transmisión de tercera generación, todos estos valores representan una gran reducción en el presupuesto de ampliación de la red de cobertura de una empresa de telefonía, permitiendo implementar celdas a un menor costo y en un menor tiempo. En el equipo radiante se presenta un ahorro pequeño pero de igual forma se debe tomar en cuenta.

Entonces el valor total de una celda de telefonía móvil de cuarta generación en comparación con una celda de telefonía móvil de tercera generación presenta una reducción de costos de implementación por la suma de Q182 223,60 la cual es una reducción de costos muy grande en el presupuesto para la implementación de nuevas celdas, el tiempo de implementación de las celdas se ve reducido en un 50 %.

La instalación en poste representa una disminución impresionante de los costos de implementación de nuevas tecnologías. La tabla X que se observa a continuación muestra una comparación del valor total en la implementación de una celda 3G, 4G y un poste con equipos 4G.

Tabla X. **Evaluación de costos en poste**

Evaluación de costos en poste 4G			
	Celda 3G	Celda 4G	Poste 4G
Moneda	Q	Q	Q
Obra civil	390 000,00	390 000,00	93 600,00
Equipos de RF	390 000,00	253 500,00	253 500,00
Transmisión	163 800,00	122 460,00	122 460,00
Equipo radiante	66 783,60	66 300,00	62 400,00
Energía	159 900,00	159 900,00	117 000,00
Gasto Total	1 170 483,60	988 260,00	648 960,00

Fuente: elaboración propia.

La instalación en poste representa un ahorro económico muy importante debido a que la diferencia de costos de implementación es muy grande.

La diferencia de costos de tecnologías de cuarta generación en poste es una de las ventajas que superó por completo a las tecnologías anteriores, la instalación de postes es muy práctica y rápida, se puede implementar en lugares en donde no se puede colocar una celda convencional, el costo por implementar un poste con equipos de telefonía celular es de Q648 960,00 lo cual reduce enormemente los costos de ampliación de una red.

4.5.2. Evaluación de costos de implementación

La tecnología de telefonía móvil de cuarta generación trae una reducción en costos de implementación y costos de operación, los equipos son de un tamaño reducido lo que hace posible implementarse en postes. Un poste 4G representa hasta un 44,56 % en reducción de costos en comparación con una celda de tercera generación y un 34,33 % menor al costo de una celda de cuarta generación. En la tabla XI se muestra el valor total de una celda 3G, una celda 4G y un poste con capacidad 4G.

Tabla XI. Costos de implementación

Evaluación de costos			
	Celda 3G	Celda 4G	Poste 4G
Moneda	Q	Q	Q
Gasto Total	1 170 483,60	988 260,00	648 960,00

Fuente: elaboración propia.

La reducción en costos de operación es otra de las grandes ventajas de los equipos de telefonía móvil de cuarta generación, una celda de tercera generación necesita un mantenimiento preventivo por lo menos una vez al mes para los equipos que están a la intemperie, estos mantenimientos representan parte de los costos de operación.

Una reducción en el consumo energético con un mínimo garantizado de 35,2 %, esto quiere decir que al momento de tener operando la celda de cuarta generación se observará una reducción en la tasa de kilowatts consumidos por tal motivo la tarifa a pagar será reducida en igual porcentaje, mantener operando una celda con equipos de tercera generación representa costos más elevados en consumo energético.

Existen casos en el cual no se cuenta con energía de la red comercial, es decir celdas en las cuales no hay acceso a una línea de transmisión, en estos casos se colocan dos motogeneradores los cuales operan alternadamente las 24 horas del día los 365 días del año, estos motogeneradores son los encargados de brindar la energía necesitada a la celda para lo cual utilizan un tanque de 800 galones de diésel que dura aproximadamente 40 días, en estas celdas el costo de operación es más elevado ya que deben pagar por el combustible consumido, el precio del galón siempre es Q3,00 mayor al precio actual del galón en el mercado debido a que también se cobra el transporte del combustible hacia la celda, con los equipos de cuarta generación también se reduce el costo de operación de estas celdas ya que se reduce el consumo energético.

La implementación de nuevas tecnologías simplemente representa una disminución en los costos, por este motivo las empresas de telecomunicaciones en Guatemala están implementando estos nuevos equipos de tecnología de cuarta generación, a continuación se mencionan las principales causas:

- Precio de equipos menores a tecnologías anteriores.
- Tamaño reducido que facilita una rápida y práctica instalación.
- Menor consumo energético, minimiza los costos de operación.
- Reducción en el tiempo de instalación.
- Menor índice de robo debido a que utiliza fibra óptica en el equipo radiante y no cable coaxial el cual contiene cobre.
- Reducción del mantenimiento.
- Se puede instalar en postes para llegar a lugares donde no hay cobertura.
- Mejoras en los servicios y velocidades más altas en el servicio de datos.

Estas son las son las más importantes características que poseen los equipos de telefonía celular de cuarta generación, donde se destaca la reducción de costos y la reducción en el tiempo de implementación.

La nueva generación de equipos de telefonía celular trae muchas mejoras como se mostro anteriormente, siendo el factor económico uno de los más destacados, estos equipos facilitan la implementación y proporciona nuevas formas de instalación como las que se realizan postes.

Al momento de ampliar una red de telefonía celular no se refiere únicamente a dos o tres celdas a implementar, se habla de un aproximado que está en el rango de 150 a 200 celdas nuevas por año y de millones de quetzales que se necesitan para la implementación de estas nuevas celdas de telefonía celular, también en casos donde sólo se realiza una migración de muchas celdas ya existentes.

La reducción de costos se puede calcular en millones de quetzales al ampliar una red con equipos de tecnología de cuarta generación, en muchos casos no se instalará una celda típica, se instalará un poste y la instalación de estos mismos reduce grandemente los costos de implementación. El ahorro en costos de operación es una cifra que asciende a cientos de miles de quetzales al año, simplemente los nuevos equipos traen ventajas económicas sin comparación.

CONCLUSIONES

1. El modelo de un sistema de telefonía se modifica para implementar nuevas tecnologías sin cambiar radicalmente la red existente.
2. La tecnología de tercera generación comúnmente llamada 3G no es una sola tecnología, es un conjunto de varias tecnologías que forman la tercera generación en tecnologías de telefonía celular.
3. Las técnicas de modulación digital empleadas en las redes 3G son diseñadas para enviar todo tipo de información, no solo de voz y para adaptarse rápidamente a cualquier otro enlace en la misma red.
4. La tecnología HSDPA es considerada como un escalón para recibir la nueva generación de telefonía celular debido a que consiste en implementar mayores velocidades en descarga de datos desde la red de telefonía existente.
5. La cuarta generación en tecnologías de telefonía celular comúnmente llamada 4G no es una sola tecnología, al igual que sus generaciones anteriores es un conjunto de tecnologías que forman la nueva generación en telefonía celular.

6. Las redes de telefonía celular de cuarta generación utilizan equipos específicamente diseñados para transmitir datos que requieren un gran ancho de banda, el uso de protocolos de internet IPV6 es uno de sus principales avances en telefonía celular.

7. Los aspectos importantes que se deben tomar en cuenta al implementar nuevos equipos en telecomunicaciones son los costos de implementación y el beneficio que trae implementar estas nuevas tecnologías, así como, el tiempo requerido en actualizar toda la red.

RECOMENDACIONES

1. Para comprender la evolución de las generaciones en tecnologías de telefonía es necesario tener un conocimiento básico sobre las diferencias en técnicas de modulación analógicas y digitales.
2. En la tercera y cuarta generación de tecnologías en telefonía celular se debe tener claro el concepto de cómo están formadas las redes actuales de telefonía en Guatemala, que tipo de equipos se tienen instalados y cuál es la función que cumple cada celda en la red de telefonía.
3. Es de suma importancia tener el conocimiento sobre costos de implementación de los nuevos equipos de telecomunicaciones para tener en cuenta que a mediano plazo la inversión realizada sea recuperada de acuerdo a la proyección económica realizada.
4. Durante el estudio de las redes de telefonía celular en Guatemala se debe tomar en consideración que el camino que tienden a seguir las redes actuales es la integración en una sola red global que pueda brindar más que el típico servicio de una llamada de voz.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRICEÑO MÁRQUEZ, José E. *Principio de las comunicaciones*. Venezuela, Mérida, 2005. 578 p.
2. CHUAH, Mooichoo; ZHANG, Qinquing. *Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs*. United States, Springer. 347 p.
3. DAHLMAN, Erik; PARKVALL, Stefan; SKOLD, Johan; BEMING, Per. *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. Elsevier, Linacre House, 2007. 432 p.
4. DAVIS, Joseph. *Understanding IPv6*. Microsoft Press, 2008. 529 p.
5. ELS VAN DE KAR, Alexander Verbraeck. *Designing Mobile Service Systems*. IOS Press, 2007. 233 p.
6. HAYKIN, Simon. *Señales y sistemas*. McMaster University. Limusa, 2001. 737 p.
7. Helsinki University of Technology. *Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system*. Finland, 2008. 249 p.
8. HOLMA, Harri; TOSKALA, Antti. *HSDPA/HSUPA for UMTS*. John Wiley & Sons, 2006. 241 p.

9. _____ *WCDMA FOR UMTS*. John Wiley & Sons, 2008. 447 p.
10. KORHONEN, Juha. *Introduction to 3G Mobile Communications*. Artech House, 2003. 359 p.
11. LAIHO, Jaan; WACKER, Achim. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. John Wiley & Sons, 2006. 621 p.
12. MISHRA, Ajay R. *Advanced Celular Network Planning And Optimisation 2G/2.5G/3G. . . Evolution to 4G*. John Wiley & Sons, 2007. 485 p.
13. PRADAS, Jose Luis. *Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system*. Department of Electrical and Communications Engineering, Helsinki University of Technology, 2006. 255 p.
14. WAYNE, Tomasi. *Sistema de comunicaciones electrónicas*. Mexico, Pearson Educación, 2003. 935 p.
15. ZHANG, Yan; CHEN, Hsiao-Hwa. *MOBILE WiMAX Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Networks*. Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, 2008. 435 p.