



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**“ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LA GESTIÓN DEL CONTROL DE  
POTENCIA EN SISTEMAS UMTS Y DESARROLLO DE HERRAMIENTA  
DIDÁCTICA”**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**TESINA DE SEMINARIO**

**Previo a la obtención de título:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Presentada por**

**VICENTA MARIELA SALTOS HOLGUÍN**

**FÁTIMA STEPHANIE VILLEGAS PÁRRAGA**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por estar a mi lado en todo momento de mi vida, a mi mamá por la perseverancia en su apoyo incondicional, a mi amado esposo e hijos por luchar conmigo y salir siempre adelante, a mis hermanos por ser mis primeros y mejores amigos, a mi abuelita por sus sabias palabras y amor de madre y a mi familia en general por confiar siempre en mí.*

*A la universidad y sus profesores que fueron el camino de aprendizaje de conocimientos y valores que son la puerta de entrada al mundo laboral.*

*A todos ellos, GRACIAS.*

***Fátima Stephanie Villegas Párraga.***

*A mi Dios por darme fuerza para seguir adelante. A mis padres por haber confiado siempre en mí. A mis hermanos por ser mi apoyo incondicional. A mi sobrina Melanie y a mis hijos, Sergio y Emilio, porque llenan de alegría cada día de mi vida. A mi esposo, Iván por estar siempre a mi lado brindándome apoyo, cariño y respeto.*

*A mi director de seminario de graduación, Ing. Washington Medina por su dedicación, orientación y confianza que ha depositado en mí.*

*Finalmente, quiero hacer una mención especial, a un gran amigo y profesor, Ing. Fernando Vásquez por su incondicional apoyo y ayuda a lo largo de mi carrera universitaria.*

*A todos ellos, GRACIAS.*

***Vicenta Mariela Saltos Holguín.***

## DEDICATORIAS

*Este logro se lo dedico a mis hijos Matthews Jareld y Amy Camila Redrován Villegas, puesto que ellos son la motivación más grande en mi vida para ser feliz, para luchar y salir adelante.*

*A mi mamá Gloria Párraga, como retribución a la ayuda brindada durante este largo camino, para el alcance de este logro.*

*Querida madre hoy te doy las gracias.*

***Fátima Stephanie Villegas Párraga.***

*A mis padres, José Saltos y Vicenta Holguín,  
pilares fundamentales en mi vida, con todo  
amor les dedico mi esfuerzo y trabajo, en  
reconocimiento al sacrificio puesto para mi  
formación académica.*

***Vicenta Mariela Saltos Holguín.***

## **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

Ing. Washington Medina

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

---

Ing. Fernando Vásquez

PROFESOR DELEGADO POR EL DECANO DE LA FACULTAD

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”. (Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

---

***Fátima Stephanie Villegas Párraga.***

---

***Vicenta Mariela Saltos Holguín.***

## RESUMEN

El control de potencia es la función más importante y fundamental en los terminales que utilizan el estándar WCDMA, puesto que, muchos usuarios utilizan la misma frecuencia de radio, así que la interferencia es un tema muy importante en WCDMA. Sin la utilización de un mecanismo de control de potencia preciso, estos sistemas no pueden funcionar, ya que mediante este mecanismo se mejora significativamente la calidad en la transmisión de información, controlando las mediciones de la SIR, ayudando a superar el efecto Cerca – Lejos que se presenta al utilizar la misma frecuencia y a maximizar la vida de la batería del terminal móvil.

En el presente trabajo se muestra cómo está estructurado un sistema UMTS, de forma general, su arquitectura básica, sus diferentes capas y canales, concentrándose de manera más detallada en el Control de Potencia, en su gestión y demás mecanismos necesarios que se relacionan con él, para que se realice su correcto funcionamiento.

Finalmente, se desarrolló una herramienta didáctica, un video sencillo, claro y objetivo, donde se explica la Gestión de Control de Potencia en sistemas UMTS, sus fases y canales utilizados para correcta comunicación entre el

terminal y el Nodo B, utilizando varios software como son CINEMA 4D R15 para modelado, animación y texturización, ADOBE AFTER EFFECTS para la superposición de imágenes y FINAL CUT PRO para la edición del video.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIAS.....	IV
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	VI
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XX
ABREVIATURAS.....	XXI

### CAPÍTULO 1

#### SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES (UMTS)

1.1. Introducción a UMTS (WCDMA).....	1
1.2. Arquitectura general de UMTS.....	5
1.3. Interfaces UMTS.....	6
1.4. Arquitectura en capas de protocolos de WCDMA.....	9
1.4.1. Capa física.....	12
1.4.1.1. Canales de transporte.....	13

1.4.1.1.1.	Canal de transporte dedicado.....	15
1.4.1.1.2.	Canales de transporte comunes.....	15
1.4.1.2.	Canales físicos .....	18
1.4.1.2.1.	Canal físico para el enlace de subida .....	19
1.4.1.2.2.	Canal físico para el enlace de bajada.....	21
1.4.2.	Capa MAC.....	24
1.4.2.1.	Canales lógicos.....	28
1.4.2.1.1.	Canales de control.....	28
1.4.2.1.2.	Canales de tráfico.....	30
1.4.2.2.	Mapeo entre canales lógicos, canales de transporte y canales físicos.....	31
1.4.3.	Capa RLC.....	32
1.4.3.1.	Funciones de RLC.....	33
1.4.4.	Capa RRC.....	35
1.4.4.1.	Funciones de RRC.....	36
1.4.5.	Protocolo PDCP.....	38
1.4.6.	Protocolo BMC.....	39

## **CAPÍTULO 2**

### **ARQUITECTURA UMTS**

2.1.	Equipo de Usuario (UE).....	42
2.1.1.	Arquitectura del UE.....	42

2.1.1.1.	Módulo de la Tarjeta Universal de Circuito Integrado (UICC).....	42
2.1.1.2.	El Equipo Móvil (ME).....	44
2.1.1.2.1.	Terminación Móvil (MT).....	44
2.1.1.2.1.1.	Clasificación de la MT.....	45
2.1.1.2.2.	Equipo Terminal (TE).....	46
2.1.1.2.2.1.	Tipos de Equipos Terminales.....	47
2.2.	Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRAN).....	48
2.2.1.	Arquitectura UTRAN.....	49
2.2.1.1.	Nodo B.....	50
2.2.1.2.	Controlador de la Red Radio (RNC).....	52
2.2.1.2.1.	Tipos de RNC.....	54
2.3.	Red Central (CN).....	56
2.3.1.	Principales elementos de CN.....	57
2.3.1.1.	Home Location Register (HLR).....	57
2.3.1.2.	MSC / VLR.....	58
2.3.1.3.	Gateway MSC (GMSC).....	59
2.3.1.4.	Serving GPRS Support Node (SGSN).....	59
2.3.1.5.	Gateway GPRS Support Node (GGSN).....	59
2.3.2.	Arquitectura de la Core Network.....	60
2.3.2.1.	Conmutación por Circuitos (CS).....	61
2.3.2.2.	Conmutación por paquetes (PS).....	61
2.4.	Protocolos de Red de Acceso.....	63

2.4.1. Protocolos de Aplicación (AP).....	64
2.4.1.1. Protocolos de Red RANAP.....	64
2.4.1.2. Protocolo de Red NBAP.....	65
2.4.1.3. Protocolo de Red RNSAP.....	66
2.4.2. Protocolos de trama (FP).....	67
2.4.2.1. Protocolo de trama en la interfaz lu.....	68

### **CAPÍTULO 3**

#### **GESTIÓN DE RECURSOS RADIO (RRM)**

3.1. Introducción.....	69
3.2. Funciones de RRM.....	71
3.3. Control de Potencia.....	72
3.3.1. Control de potencia de lazo abierto.....	78
3.3.2. Control de potencia de lazo cerrado.....	81
3.3.2.1. Control de potencia de lazo interno .....	82
3.3.2.1.1. Control de potencia de lazo interno en el enlace ascendente.....	83
3.3.2.1.2. Control de potencia de lazo interno en el enlace descendente...85	
3.3.2.2. Control de potencia de lazo externo.....	86
3.3.2.2.1. Control de potencia de lazo externo de enlace ascendente.....	87
3.3.2.2.2. Control de potencia de lazo exterior de enlace descendente.....	88
3.4. Control de Handoff.....	89
3.4.1. Intra System Handoff.....	90

3.4.2. Inter System Handoff .....	91
3.4.3. Hard Handoff.....	91
3.4.4. Soft Handoff.....	92
3.4.4.1. Control de potencia en el Soft Handoff .....	93
3.4.5. Procedimiento de Handoff .....	94
3.4.5.1. Fase de Medición.....	96
3.4.5.2. Fase Decisión.....	98
3.4.5.3. Fase de Ejecución.....	99
3.5. Control de la congestión.....	99
3.5.1. Call Admission Control.....	100
3.5.1.1. Potencia de Banda Ancha en el Control de Admisión.....	103
3.5.1.2. Throughput.....	105
3.5.2. Load Control.....	106
3.5.2.1. Control de Carga Preventivo.....	108
3.5.2.2. Control de sobrecarga.....	108
3.5.3. Packet Scheduling Control.....	109
3.5.3.1. Usuario específico.....	110
3.5.3.2. Celda específica.....	111

## **CAPÍTULO 4**

### **DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DIDÁCTICA**

4.1. Introducción.....	116
------------------------	-----

4.2.	Descripción del software.....	118
4.2.1.	Requerimientos.....	118
4.2.1.1.	Requerimientos del Hardware.....	118
4.2.1.2.	Requerimientos del software.....	119
4.2.2.	Aspectos Técnicos.....	119
4.2.2.1.	Cinema4D R15.....	119
4.2.2.2.	After Effects.....	120
4.2.2.3.	Final Cut Pro.....	122
4.3.	Pre – Producción.....	124
4.4.	Producción.....	126
4.5.	Post – Producción.....	132
	CONCLUSIONES.....	134
	RECOMENDACIONES.....	138
	REFERENCIAS.....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Arquitectura del sistema UMTS.....	6
Figura 1.2. Elementos e interfaces de red UMTS.....	8
Figura 1.3. Arquitectura de protocolo del estándar WCDMA.....	9
Figura 1.4. Interfaz entre capas superiores y capa física.....	14
Figura 1.5. Estructura del Canal Dedicado en el Enlace ascendente.....	21
Figura 1.6. Estructura del Canal Dedicado en el Enlace descendente.....	22
Figura 1.7. Arquitectura de la capa MAC.....	25
Figura 1.8. Mapeo entre canales lógicos, canales de transporte y canales físicos.....	32
Figura 2.1. Arquitectura del Equipo de usuario.....	47
Figura 2.2. Arquitectura general de UTRAN.....	50
Figura 2.3. Estructura del Nodo B.....	52
Figura 2.4. Arquitectura RNC.....	53
Figura 2.5. Tipos de RNC.....	56
Figura 2.6. Elementos e interfaces del CN.....	60
Figura 2.7. Arquitectura CN.....	62
Figura 2.8. Protocolos de Red.....	63
Figura 3.1. Ubicación de las Funciones de RRM.....	72

Figura 3. 2. Mecanismos de control de potencia empleados en WCDMA...	75
Figura 3.3. Algoritmo del Control de Potencia.....	77
Figura 3.4. Control de Potencia de Lazo Cerrado.....	82
Figura 3.5. Control de potencia de lazo interno.....	84
Figura 3.6. Control de Potencia de Lazo Interno.....	85
Figura 3.7. Procedimiento de Handoff.....	95
Figura 3.8. Mediciones para el Packet Scheduling.....	111
Figura 3.9. Diagrama de flujo de la funcionalidad básica del Packet Scheduling.....	113
Figura 3.10. Diagrama de flujo de la información de entrada y principios de cálculo del Packet Scheduling de celda específica.....	115
Figura 4.1. Funciones de Cinema 4D.....	120
Figura 4.2. Aspecto de Adobe After Effects.....	122
Figura 4.3. Aspecto de Final Cut Pro.....	123
Figura 4.4. Diseño del personaje en Cinema 4D R15.....	127
Figura 4.5. Diseño del carro en Cinema 4D R15.....	127
Figura 4.6. Diseño del entorno en Cinema 4D R15.....	128
Figura 4.7. Diseño del teléfono móvil en Cinema 4D R15.....	129
Figura 4.8. Diseño del Nodo B en Cinema 4D R15.....	129
Figura 4.9. Animación de elementos en After Effects.....	130
Figura 4.10. Animación combinando varios elementos en After Effects.....	131
Figura 4.11. Elementos para el control de potencia en After Effects.....	131

Figura 4.12. Exportación de las escenas de After Effects a Final Cut

Pro.....133

Figura 4.13. Edición en Final Cut Pro.....133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Diferencia de tiempos entre tecnologías.....	5
---	---

## ABREVIATURAS

<b>3G</b>	Tercera Generación de telefonía móvil
<b>3GPP</b>	Asociación de Proyectos de Tercera Generación
<b>AGCH</b>	Canal de Acceso Admitido
<b>AM</b>	Modo Reconocido
<b>AP</b>	Protocolos de Aplicación
<b>ARQ</b>	Petición de Repetición Automática
<b>AUC</b>	Centro de Autenticación
<b>AUC</b>	Centro de Autenticación
<b>BCCH</b>	Canal de Control de Difusión
<b>BCH</b>	Canal de Difusión
<b>BER</b>	Tasa de Error de Bit
<b>bit</b>	Dígito binario
<b>BLER</b>	Tasa de Error de Bloque
<b>BMC</b>	Protocolo de Control de Difusión/Multidifusión
<b>BS</b>	Estación Base
<b>BSC</b>	Controlador de la Estación Base
<b>CAC</b>	Control de Admisión de Llamadas
<b>CC</b>	Control de las llamadas
<b>CCCH</b>	Canal de Control Común

<b>CDMA</b>	Acceso Múltiple por División de Código
<b>chip</b>	Circuito Integrado
<b>CN</b>	Core Network (Red principal)
<b>CPCH</b>	Canal de Paquete Común
<b>CPICH</b>	Canal Piloto Común
<b>CRC</b>	Chequeo de Redundancia Cíclica
<b>CRNC</b>	Controlador de Red de Radio de Control
<b>CS</b>	Conmutación por Circuitos
<b>CTCH</b>	Canal de Tráfico Común
<b>Cu</b>	Interfaz que conecta la Tarjeta con el Usim
<b>dB</b>	Decibel
<b>DCCH</b>	Canal de Control Dedicado
<b>DCH</b>	Canal Dedicado
<b>DDPCH</b>	Canal Físico Dedicado para el Enlace Descendente
<b>DL</b>	Enlace Descendente
<b>DPCCH</b>	Canal Físico de Control Dedicado
<b>DPCH</b>	Canal Físico Dedicado
<b>DPDCH</b>	Canal Físico de Datos Dedicado
<b>DRNC</b>	Controlador de Red de Radio de Desplazamiento
<b>DSCH</b>	Canal Compartido del Enlace Descendente
<b>DTCH</b>	Canal de Tráfico Dedicado
<b>EIR</b>	Registro de Identificación de Equipos

<b>EIR</b>	Registro de Identificación de Equipos
<b>ETSI</b>	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
<b>FACH</b>	Canal de Acceso Delantero
<b>FBI</b>	Bits de Información Realimentados
<b>FP</b>	Protocolos de Trama
<b>FPC</b>	Control de Potencia Rápido
<b>GGSN</b>	Nodo de Soporte de puerta de enlace GPRS
<b>GMSC</b>	Puerta de enlace MSC
<b>GPRS</b>	Servicio General de Paquetes de Radio
<b>GR</b>	Registro GPRS
<b>GSM</b>	Sistema Global para Comunicaciones Móviles
<b>HandOver</b>	Transferencia de Llamada
<b>HLR</b>	Registro de Localización de Usuarios
<b>IMP</b>	Identidad Pública Multimedia IP
<b>IMPI</b>	Identidad Privada Multimedia IP
<b>IMS</b>	Subsistema Multimedia IP
<b>IMSI</b>	Identidad Internacional del Abonado a un Móvil
<b>IMT-2000</b>	Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000
<b>IS-95</b>	Estándar Interno 95
<b>ISDN</b>	Red Digital de Servicios Integrados
<b>ISIM</b>	Módulo IP Multimedia de Servicios de Identidad
<b>ITU</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones

<b>Iu</b>	Interfaz que conecta el RNS y la CN
<b>Iub</b>	Interfaz que conecta el RNC y la BS
<b>Iu-BC</b>	Interfaz Iu con el dominio de Difusión
<b>Iu-CS</b>	Interfaz Iu con el dominio Conmutación por Circuito
<b>Iu-PS</b>	Interfaz Iu con el dominio Conmutación por paquete
<b>Iur</b>	Interfaz entre dos RNC
<b>Kbps</b>	Kilo bit por segundo.
<b>L1</b>	Capa Física
<b>L2</b>	Capa de Enlace de Datos
<b>L3</b>	Capa de Red
<b>MAC</b>	Control de Acceso al Medio
<b>ME</b>	Equipo Móvil
<b>MHz</b>	Mega hertz
<b>MM</b>	Gestión de la Movilidad
<b>ms</b>	Milisegundo
<b>MSC</b>	Centro de Conmutación de Servicios Móviles
<b>MT</b>	Terminación Móvil
<b>NBAP</b>	Parte Aplicación del Nodo B
<b>NRT</b>	Tiempo no Real
<b>NT</b>	Terminación de Red
<b>OSI</b>	Interconexión de Sistemas Abiertos
<b>PCCH</b>	Canal de Control de Voceo

<b>PCCPCH</b>	Canal Físico de Control Común Primario
<b>PCH</b>	Canal de Piloto
<b>P-CPICH</b>	Canal Piloto Común Primario
<b>PDCP</b>	Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos
<b>PDSCH</b>	Canal Físico Compartido de Enlace Descendente
<b>PDU</b>	Unidad de Paquete de Datos
<b>PICH</b>	Canal Indicador de Voceo
<b>PRACH</b>	Canal Físico de Acceso Aleatorio
<b>PS</b>	Conmutación de Paquetes
<b>PU</b>	Unidades de Carga Útil
<b>QoS</b>	Calidad de Servicio
<b>RACH</b>	Canal de Acceso Aleatorio
<b>RANAP</b>	Parte de Aplicación de Acceso de Red de Radio
<b>RB</b>	Radio Portadores
<b>RF</b>	Radio Frecuencia
<b>RLC</b>	Control de Radio Enlace
<b>RMM</b>	Gestión de Recursos de Radio
<b>RNC</b>	Controlador de Radio Red
<b>RNS</b>	Subsistema de Red de Radio
<b>RNSAP</b>	Parte de Aplicación de Subsistema de Red de Radio
<b>RRC</b>	Control de Recursos de Radio
<b>RSCP</b>	Potencia de Código de la Señal Recibida

<b>RT</b>	Terminación de Radio
<b>RT</b>	Tiempo Real
<b>Rx</b>	Recepción
<b>SAPs</b>	Puntos de Acceso de Servicio
<b>SCCPCH</b>	Canal Físico de Control Común Secundario
<b>SCH</b>	Canal de Sincronización
<b>SDU</b>	Unidad de Servicio de Datos
<b>SGSN</b>	Nodo de Soporte de Servicio GPRS
<b>SIR</b>	Relación de Señal a Interferencia
<b>SRB</b>	Radio Portadores de Señalización
<b>SRNC</b>	Controlador de Red de Radio de Servicio
<b>TA</b>	Adaptación de Terminal
<b>TE</b>	Equipo de Terminal
<b>TFCI</b>	Indicador Combinado de Formato de Transporte
<b>TFCS</b>	Transporte de Selección de Combinación de Formato
<b>TFI</b>	Indicador de Formato de Transporte
<b>TM</b>	Modo Transparente
<b>TPC</b>	Control de Potencia de Transmisión
<b>Tu</b>	Conecta UTRAN y CN
<b>Tx</b>	Transmisión
<b>UE</b>	Equipo de Usuario

<b>UICC</b>	Tarjeta Universal de Circuito Integrado
<b>UL</b>	Enlace Ascendente
<b>UM</b>	Modo No Reconocido
<b>UMTS</b>	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles
<b>USIM</b>	Módulo de Identidad de Suscripción
<b>UTRAN</b>	Acceso de Radio Universal Terrestre
<b>Uu</b>	Interfaz de Radio WCDMA
<b>VLR</b>	Registro de Localización de Visitantes
<b>WCDMA</b>	Acceso Múltiple de Banda ancha por división de código

## INTRODUCCIÓN

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) es un sistema de telecomunicaciones móviles de 3G, sucesor de GSM. Diseñado para soportar una amplia gama de aplicaciones con diferentes perfiles de calidad de servicio (QoS), debido a la creciente demanda de aplicaciones móviles y de Internet.

El sistema 3G tiene capacidad de transporte de servicios multimedia en banda ancha, junto con los servicios tradicionales de telefonía celular por ejemplo, voz, mensajería, etc.

Para proporcionar estos servicios con mejor calidad de servicio (QoS) y mejorar el rendimiento de red inalámbrica, la gestión de recursos de radio es necesaria. Para ello, existen estrategias de gestión de recursos de radio (RRM) que son técnicas desempeñan un papel importante en la prestación de los diferentes servicios con la mejor calidad.

En nuestra tesina, exploraremos las estrategias RRM enfocándonos en el análisis del control de potencia donde nos daremos cuenta que es el más importante, no solo porque mejora la calidad de servicio sino que también

ayuda a la optimización de la red de radio mediante la reducción de la nivel de interferencia y porque afecta directamente a otras técnicas de RRM.

Es por ello que este trabajo está orientado con fines académicos, para toda aquella persona interesada en este tema, donde encontrará información básica, clara y sencilla, además de un video didáctico que ayudará a una mejor comprensión de la GESTIÓN DEL CONTROL DE POTENCIA EN SISTEMAS UMTS.

## **CAPÍTULO 1**

# **SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES (UMTS)**

### **1.1. Introducción a UMTS (WCDMA)**

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) cuyas siglas en español significan Sistema universal de telecomunicaciones móviles, es un estándar europeo para tecnologías de tercera generación (3G), sucesora de GSM.

UMTS es uno de los principales sistemas móviles de tercera generación desarrollado por la Unión Internacional de

Telecomunicaciones, ITU (Internacional Telecommunication Union), es miembro de la familia global IMT- 2000. IMT-2000 es la norma mundial para tecnologías de tercera generación de comunicaciones inalámbricas.

En 3G se han desarrollado servicios como son: Internet móvil, correo electrónico, transferencia de datos de alta velocidad, vídeo y servicios multimedia. 3G adopta las técnicas de acceso múltiple CDMA y más específicamente de banda ancha, para proporcionar mayor capacidad.

UMTS está normalizado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, European Telecommunications Standards Institute (ETSI).

La ITU define los requerimientos que debe tener un sistema 3G dentro de IMT-2000:

- Proporcionar acceso a servicios como: audio, video, voz, datos, multimedia, roaming y seguridad.
- Alta velocidad en la transmisión de datos, con tasas de 144 Kbps (entorno de vehículos), 384 Kbps (entorno de

suburbanos), 9.6 Kbps (entorno de satélite) y 2 Mbps (entorno de interiores de oficinas) [1].

- Servicios simétricos y asimétricos.
- Calidad de voz comparable con los sistemas de comunicaciones fijos.
- Compatibilidad con sistemas de segunda generación.
- Alta eficiencia espectral.
- Servicio de paquetes de datos de alta velocidad.
- Conmutación de paquetes y conmutación de circuitos.

La intención de UMTS ha sido utilizar y ampliar la capacidad de las tecnologías móviles, inalámbricas y de satélite existentes, proporcionando mayor capacidad de datos y una mayor variedad de servicios utilizando un sistema de acceso de radio innovador y una evolución de red mejorada.

Uno de los sistemas más representativos de UMTS es el acceso múltiple por división de código de banda ancha, WCDMA (Wideband CDMA), que fue desarrollada por la asociación de proyectos de tercera generación, 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

En los foros de normalización, la tecnología WCDMA se ha convertido en la interfaz de aire de tercera generación más ampliamente adoptado. Su especificación se ha creado en el 3GPP, que es el proyecto de normalización conjunto de los organismos de normalización de Europa, Japón, Corea, EE.UU. y China [2].

La 3GPP actualiza los datos continuamente con nuevas y mejoradas características, usa un sistema de revisiones, en la cual se indican todas estas especificaciones.

En UMTS, el teléfono móvil se está convirtiendo como un dispositivo personal de confianza, una herramienta de administración para el trabajo y el ocio. Entre las nuevas posibilidades para la comunicación, entretenimiento y negocios de nuevas clases de llamadas y servicios de datos multimedia, impulsado por la movilidad y la personalización de los usuarios y sus terminales [3].






Aplicación	GSM	GPRS	UMTS
E-mail 10 Kbytes	8 seg.	0,7 seg.	0,04 seg.
Página Web 20 Kbytes	20 seg.	1,6 seg.	0,1 seg.
Fichero PowerPoint 2 Mbytes	28 min.	2 min.	7 seg.
Video clip 4 Mbytes	48 min.	4 min.	14 seg.

Tabla 1.1. Diferencia de tiempos entre tecnologías [4].

## 1.2. Arquitectura general de UMTS

UMTS posee una arquitectura de red que está integrada por tres entidades, la estación móvil el equipo de usuario (UE), la red UTRAN (UTRA Network), y la red central (CORE NETWORK).

En la siguiente figura se muestra dicha arquitectura con capacidad de gestionar circuitos orientados a conexión y circuitos orientados a paquetes.

La arquitectura general también incluye dos interfaces: la interfaz Iu que se localiza entre la UTRAN y la red central y la interfaz Uu que se encuentra entre la UTRAN y el UE.

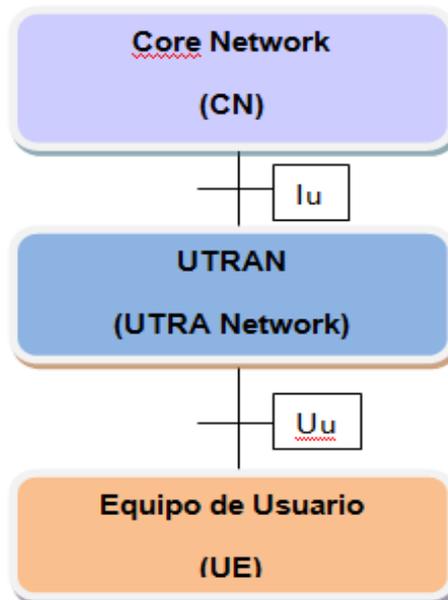


Figura 1.1 Arquitectura del sistema UMTS [2].

### 1.3. Interfaces UMTS

Existen cinco interfaces de red UMTS las mismas que son:

- **Interfaz Tarjeta- Usim (Cu):** Esta es la interfaz eléctrica entre la tarjeta inteligente y USIM el ME.

- **Interfaz radio (Uu):** Esta es la interfaz de radio WCDMA, a través de la cual el UE accede a la parte fija del sistema, y por lo tanto, es probablemente la interfaz abierta más importante en UMTS.
- **Interfaz Red Central–RNC (Iu):** Se trata de una interfaz abierta que conecta red central con la UTRAN y también divide el sistema de tal manera que la conmutación, el encaminamiento, y el control de servicio se manejan por CN y la gestión de recursos de radio es manejado por la UTRAN.

Se subdivide en tres partes, las mismas que poseen un dominio concreto del núcleo de red:

- **Iu-CS:** Conecta la UTRAN a un centro de conmutación móvil, un MSC.
- **Iu-PS:** La interfaz Iu-PS conecta la UTRAN al SGSN.
- **Iu-BC:** Difusión.

Sólo hay una interfaz Iu-Ps hacia el PS para cualquier RNC y cada uno de los RNC tiene sólo una interfaz Iu-CS hacia su nodo CN predeterminada en el dominio CS. Sin embargo, no hay posibilidad de tener más de una interfaz Iu-CS hacia otro

nodo CN dentro del CS. Es importante tener en cuenta que un RNC tiene por defecto un único nodo CN por cada dominio CN.

- **Interfaz RNC – RNC (Iur):** Es la conexión entre dos RNC en la Red UTRAN. No tiene equivalente en el sistema 2G, es opcional y por lo tanto complementa la interfaz Iu. Toma decisiones con respecto al Handoff entre celdas asignadas a RNC.
- **Interfaz RNC – Nodo B (Iub):** Conecta un Nodo B y el RNC. Varios "Nodos B" son manejados por un único controlador (RNC) de la red de radio a través de la interfaz Iub.

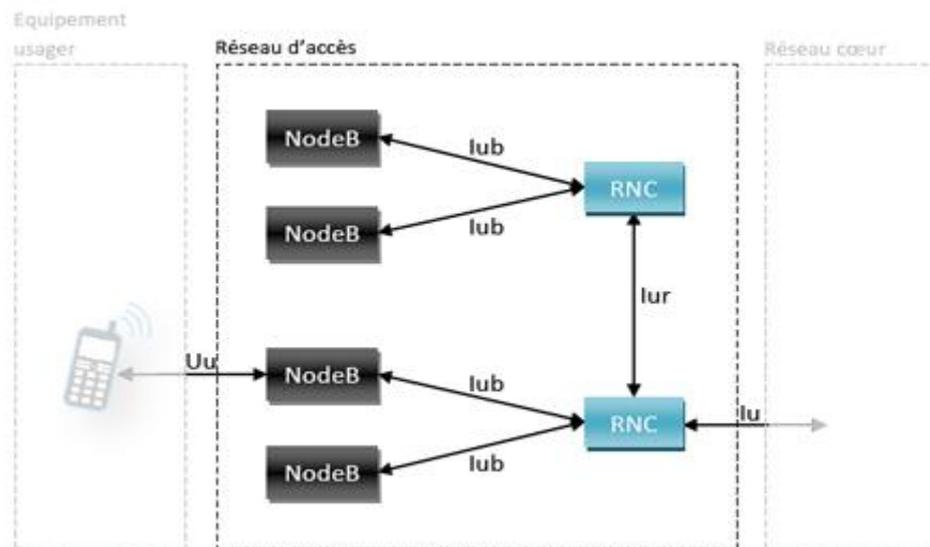


Figura 1.2 Elementos e interfaces de red UMTS [5].

#### 1.4. Arquitectura en capas de protocolos de WCDMA

Basándose en el modelo OSI [6], la arquitectura de WCDMA cuenta con tres capas para su funcionamiento, que son:

- Capa Física (L1).
- Capa de Enlace de Datos (L2).
- Capa de Red (L3).

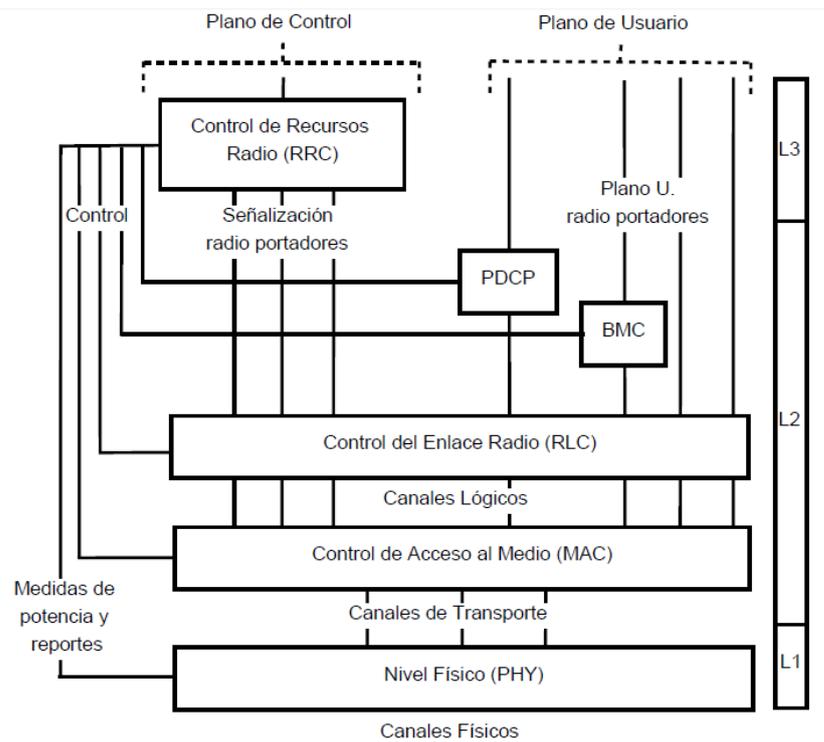


Figura 1.3 Arquitectura de protocolo del estándar WCDMA [7].

En la figura 1.3 se puede observar la arquitectura de WCDMA en donde se muestran las capas. En esta arquitectura se incluyen también dos planos, estos son:

- Plano de control: Responsable de la transmisión de información de señalización.
- Plano de usuario: Responsable de la transmisión de datos de usuario.

La capa física está formada por un conjunto de canales, que se dividen en:

- Canales de transporte
- Canales físicos

La capa de enlace de datos (L2) contiene dos subcapas:

- Capa de control de acceso al medio, MAC (Medium Access Control), y
- Capa de control de radio enlace, RLC (Radio Link Control).

El plano de usuario contiene dos protocolos en suma a estas dos últimas subcapas, los cuales son:

- Protocolo de convergencia de paquetes, PDCP (Packet Data Convergence Protocol), y
- Protocolo de control de Difusión/Multidifusión, BMC (Broadcast/Multicast Control).

Las capas MAC y RLC están conectadas a los dos planos, al de control y al de usuario. Mientras que los protocolos PDCP y BMC son conectados exclusivamente en el plano de usuario.

La capa de red (L3), implementa funciones relativas al control de los recursos de radio (RRC), Gestión de la Movilidad (MM) de los usuarios y funciones relacionadas con el Control de las Llamadas (CC).

El RRC es la capa más importante en el plano de control, es usado para señalización de transporte y para configurar características de las entidades de los protocolos de las capas bajas, que incluye parámetros para los canales físicos, de transporte y lógicos [2].

### **1.4.1. Capa física**

La capa física es uno de los rasgos más importantes de la estructura del WCDMA, ya que ésta, al igual que en la capa física del modelo OSI, proporciona los requerimientos eléctricos y de procedimiento para poder activar, mantener y desactivar el enlace por medio de un canal de comunicaciones y transmitir información a través de este medio. Es decir, la función de la capa física es preparar los datos provenientes de las capas superiores para así poder ser transmitidos sobre un canal de radio de una manera segura [2].

Las funciones de la capa física son: el suministro de los canales de transporte, mapeo de los canales de transporte para los canales físicos, implementación de los procedimientos de protección de error, segmentación y multiplexación de las cadenas de datos, sincronización en frecuencia y tiempo, control de potencia de lazo cerrado, mediciones de los parámetros del canal, calidad de conexión y ejecución de transferencia de llamada sin interrupción (soft handover) [7].

La capa física se enfoca en el mantenimiento del canal por medio del cual se realiza la comunicación entre un nodo B y el UE. La capa física divide en dos grupos principales de canales, los canales de transporte y los canales físicos.

#### **1.4.1.1. Canales de transporte**

Los datos generados en las capas superiores de la estructura de WCDMA, son transportados sobre la interfaz aérea mediante los canales de transporte, los cuales son mapeados en la capa física en diferentes canales físicos. Cada canal de transporte es acompañado por el indicador de formato de transporte TFI (Transport Format Indicator), el cual espera a los datos provenientes de las capas superiores para ser llevados a canales de transporte específicos [2].

En la capa física se combina la información de varios indicadores de formato de transporte provenientes de diferentes canales de transporte; al conjunto resultante se le conoce como indicador combinado de formato de transporte TFCI (Transport Format Combination Indicator).

El indicador combinado de formato de transporte es transmitido en el canal físico de control PCCH (Physical Control Channel) para indicar al receptor cuales canales de transporte son activados en la trama recibida. El contenido proveniente del TFCI es decodificado en el receptor y el resultante TFI es asignado a las capas superiores para los canales de transporte que pueden ser activados para la conexión [2].

Los canales de transporte están compuestos por varios bloques. En la figura 1.4 dos canales de transporte son mapeados en un único canal físico.

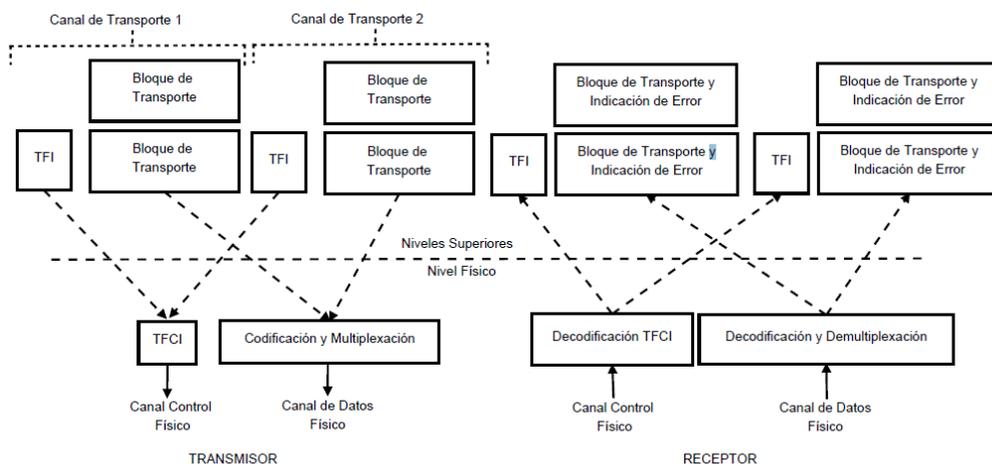


Figura 1.4 Interfaz entre capas superiores y capa física [2]

#### **1.4.1.1.1. Canal de transporte dedicado**

En WCDMA solo está definido un canal de transporte dedicado DCH (Dedicated Channel). Este tipo de canal existe tanto en el enlace ascendente y en el enlace descendente, específicamente para un solo usuario y se encarga de llevar los datos (voz) e información de control (comandos de traspaso) de las capas superiores. Un DCH tiene la capacidad de soportar Control de Potencia de lazo interno y soft handover [2].

#### **1.4.1.1.2. Canales de transporte comunes**

Un canal de transporte común es un recurso compartido entre todos o un grupo de usuarios dentro de una celda.

El utilización de canales comunes requiere el uso de señalización dentro de banda para identificar a los terminales a los cuales va dirigida la información.

A diferencia del canal de transporte dedicado, el canal de transporte común no soportan soft handover y solo algunos de ellos aplican Control de Potencia de lazo interno.

Los canales de transporte comunes son los siguientes:

- **Canal de Difusión, BCH (Broadcast Channel):** Es un canal de transporte utilizado en el enlace de bajada que se encarga de llevar información específica para cada celda determinada. Para la transmisión en este canal se requiere un alto nivel de potencia y baja tasa de transmisión de datos para ofrecer cobertura en toda la celda.
- **Canal de Acceso Delantero, FACH (Forward Access Channel):** Canal de transporte de baja velocidad de transmisión de datos en el enlace de bajada y es empleado para llevar información de control a los terminales móviles que estén localizadas en una celda determinada. No soporta Control de Potencia de lazo interno y puede existir más de un FACH por celda [4].

- **Canal de Voceo, PCH (Paging Channel):** Es un canal empleado en el enlace de bajada que lleva los datos necesarios para el procedimiento de voceo. La asignación del canal de voceo también afecta el consumo de potencia del móvil incluso cuando se encuentre en modo de espera, ya que es cuando está disponible para recibir el mensaje de voceo.
- **Canal de Acceso Aleatorio, RACH (Random Access Channel):** Es un canal disponible únicamente en el enlace de subida. Para su transmisión usa el control de potencia de lazo abierto y sirve para llevar información de control desde el UE hasta el Nodo B. Pero también, puede llevar pequeñas cantidades de paquetes de datos de la estación móvil para la red. No soporta el uso de Control de Potencia de lazo interno [8].
- **Canal de Paquete Común, CPCH (Common Packet Channel):** Es un canal disponible en el enlace de subida y es muy similar al canal de acceso aleatorio (FACH), porque también envía paquetes de información a la red, utilizando un procedimiento más ordenado para evitar las

colisiones producidas por el acceso de usuarios. Soporta Control de Potencia de lazo interno [8].

- **Canal Compartido del Enlace de Bajada, DSCH (Downlink Shared Channel):** Es un canal utilizado en el enlace de bajada para llevar información del usuario e información de control. Soporta Control de Potencia de lazo interno [8].

#### 1.4.1.2. Canales físicos

Los canales físicos son el medio que se utiliza para enviar la información tanto de control como de usuario. Los canales físicos realizan diversas funciones tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada.

La estructura de los canales físicos cuenta con una duración de trama de 10 ms lo equivalente a 38400 chips. La trama está dividida en 15 ranuras de tiempo con duración de 0.667 ms, lo equivalente a 2560 chips [2].

#### 1.4.1.2.1. Canal físico para el enlace de subida

La transmisión en el enlace de subida consiste de uno o más canales físico de datos dedicado, DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) en cada enlace de radio de subida, en el cual se realiza la función de la transmisión de los datos de usuario y de control de la información, y un solo canal físico de control dedicado, DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) en cada enlace de radio. Ambos canales son multiplexados en el tiempo [9]. La Figura 1.5 muestra la estructura de trama del DCH de enlace ascendente.

En el canal DPCCH, una ranura equivale a 10 bits y cada una contiene 4 campos, estos son [9]:

- **Bits pilotos:** Transmisión de símbolos piloto para la recepción coherente.
- **Indicador Combinado de Formato de transporte TFCI (Transport Format Combination Indicator):** Este resulta de la combinación de varios indicadores de formato de

transporte TFI (Transport Format Indicator) provenientes de diferentes canales de transporte.

- **Control de Potencia de Transmisión (TPC):** Transmite bits de Comandos de control de potencia para el enlace de bajada.
- **Bits de Información Realimentados FBI, (Feedback Information Bits):** Cuando se utiliza diversidad de transmisión en el enlace de bajada.

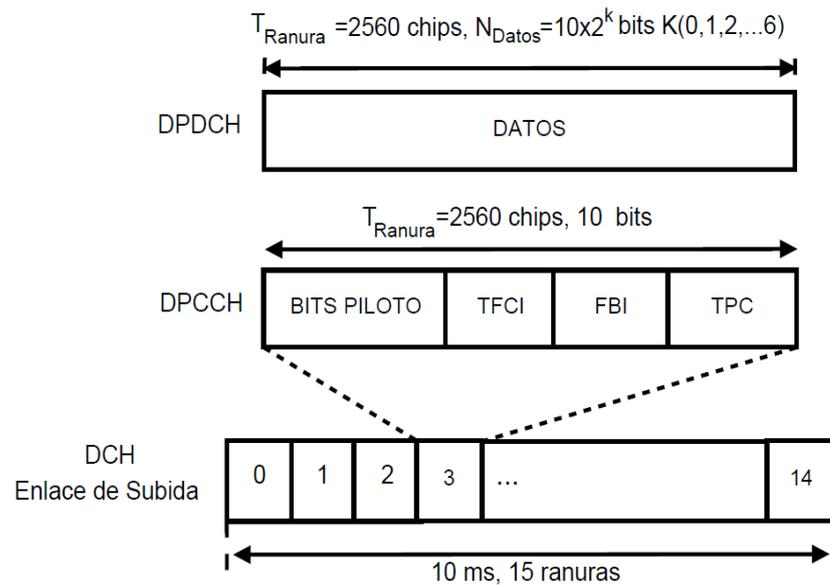


Figura 1.5 Estructura del Canal Dedicado en el Enlace ascendente [9].

### 1.4.1.2.2. Canal físico para el enlace de bajada

- Canal Físico Dedicado del Enlace de Bajada, DDPCH (Downlink Dedicated Physical Channel):** Utiliza el multiplexaje en tiempo para enviar los datos de usuario provenientes de capas superiores y el control de información que es generado en la capa física. Consta de dos canales dedicados uno para datos, el canal físico de datos dedicado, DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) y un canal para control, el canal físico de control dedicado, DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) [9]. Tal como se observa en la figura 1.6.

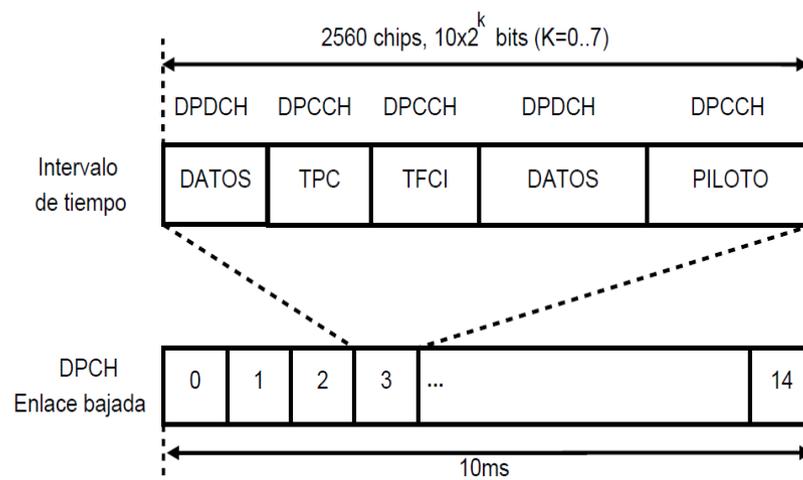


Figura 1.6 Estructura del Canal Dedicado en el Enlace descendente [9].

- **Canal Piloto Común, CPICH (Common Pilot Channel):**  
Este canal transmite una portadora que es usada para estimar los parámetros del canal. Es la referencia física para otros canales. Sus funciones son diversas e importantes, es empleado para el control de potencia, transmisión y detección coherente, la estimación de canal y medición de celdas adyacentes, los canales piloto también sirven para obtener el código scrambling de la celda. Hay dos tipos de canales piloto, primario y secundario.
- **Canal Físico Primario de Control Común, PCCPCH (Primary Common Control Physical Channel):** Es usado para llevar el canal de Broadcast (BCH) y se encarga de llevar información de control por toda la celda [7].
- **Canal Físico Secundario de Control Común, SCCPCH (Secondary Common Control Physical Channel):** Este canal físico transmite la información contenida de dos diferentes canales de transporte, los cuales son el canal de acceso delantero (FACH) y el canal de voice (PCH) [7].

- **Canal de Sincronización, SCH (Synchronization Channel):** Este canal es utilizado por los UE para la búsqueda de celdas, consta de un canal primario y un canal secundario [2].
- **Canal Físico Compartido del Enlace de Bajada, PDSCH (Physical Downlink Shared Channel):** Tiene como objetivo la transferencia de paquetes de datos en tiempo no real. En cada trama está asociado con un DPCH, con la intención de apoyar al control de potencia y de informar a la unidad móvil de la llegada de datos a través del canal DSCH [2].
- **Canal Físico de Paquetes Comunes, CPCH (Common Packet Channel):** Este canal lleva un estado de información que la red UTRA utiliza para notificar a los usuarios cuales ranuras están disponibles, es utilizado por varios usuarios y utiliza el control de potencia [8].
- **Canal Físico de Acceso Aleatorio, PRACH (Physical Accesses Channel):** Es un canal utilizado en el enlace de subida que lleva la información del canal RACH [2].

- **Canal Indicador de Voceo, PICH (Paging Indicator Channel):** Sirve para transportar el indicador de voceo. Este canal está asociado con el canal físico secundario de control común (SCCPCH) [2].

#### 1.4.2. Capa MAC

La capa Control de Acceso al Medio, MAC (Medium Access Control) determina cuantos tipos de información provienen de las capas superiores de la estructura de WCDMA.

La capa MAC ofrece servicios de transferencia de datos a la capa de control de enlace de radio (RLC) por medio de canales lógicos y que es atendida por la capa física a través de los canales de transporte, por lo que una de las principales funcionalidades de la MAC es el mapeo entre los canales lógicos y los canales de transporte. La capa MAC interactúa con la RLC, sobre un número de canales lógicos. Esta capa también es responsable de seleccionar un apropiado formato para cada canal de transporte [8].

La arquitectura lógica de la capa MAC se muestra en la figura 1.7.

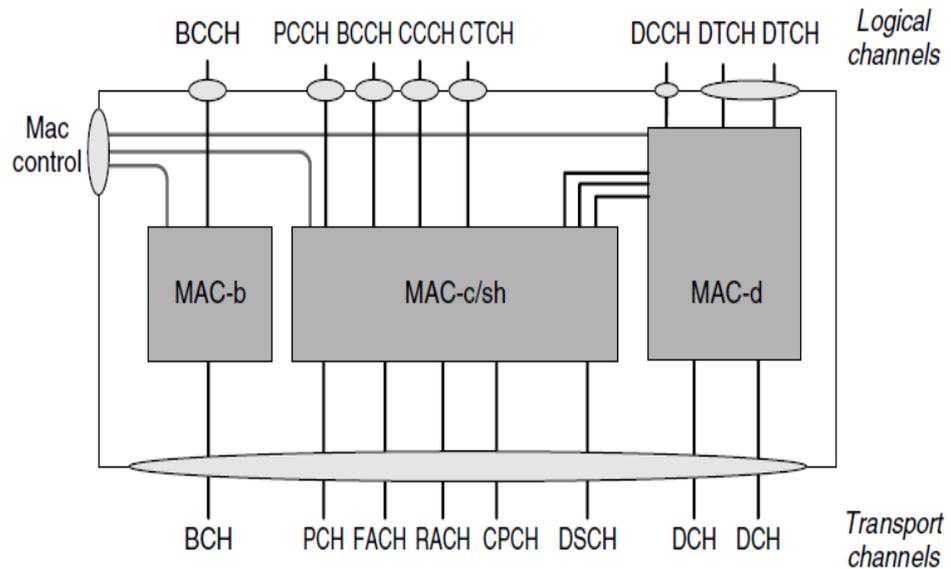


Figura 1.7. Arquitectura de la capa MAC [2].

La capa MAC consiste en tres entidades lógicas [2]:

- **MAC-b:** Esta entidad maneja la transferencia de datos desde el canal Broadcast (BCCH), y se encuentra en el Nodo B y el UE.
- **MAC-s/sh:** Es el soporte de los canales comunes, canales compartidos, canales de voz, canales de acceso de enlace de subida, canales de acceso aleatorio, canales comunes

para el enlace de subida y canales compartidos para el enlace de subida. Existe una MAC-c/sh por cada estación móvil y una MAC-c/sh en la UTRAN ubicada en la RNC de control por cada celda.

- **MAC-d:** Esta entidad se encarga de la transmisión a través de los canales dedicados DCH. Existe una MAC-d en cada estación móvil y una MAC-d en la UTRAN ubicada en la RNC de servicio para cada usuario.

Entre otras las funciones de la capa MAC son las siguientes [2]:

- Realiza en mapeo de los canales lógicos a los canales de transporte.
- Selecciona un formato adecuado de transporte de un conjunto de combinación de formatos TFCS (Transport Format Combination Set), para cada canal de transporte dependiendo de la tasa instantánea.
- Se encarga del manejo de la prioridad de los datos que circulan en una terminal móvil. Llevando esto a cabo mediante la selección de diversas tasas de bits de los

formatos de transporte para diferentes datos que circulan en el móvil.

- Se encarga de la identificación de terminales móviles sobre los canales comunes de transporte.
- Monitoreo de la cantidad de tráfico, la capa MAC recibe un estado de información de la cantidad de datos de transmisión que están en el buffer del RLC. Compara la cantidad de datos correspondientes a un canal con un umbral proporcionado por el RRC. Si la cantidad de datos es bastante alta o bastante baja, la capa MAC realiza un informe al RRC del estado de cantidad de tráfico.

El RRC utiliza este reporte para reconfigurar los canales de transporte, para proporcionar una buena calidad de servicio (QoS).

- Cifrado de los datos para el modo transparente de operación de la capa RLC.

### 1.4.2.1. Canales lógicos

La capa MAC ofrece servicios de transferencia de datos en los canales lógicos. Existen diferentes tipos de canales lógicos dependiendo del servicio ofrecido [7].

Una clasificación general de los canales lógicos es:

- Canales de control
- Canales de Tráfico

#### 1.4.2.1.1. Canales de control

Estos canales son utilizados para la transferencia de información del plano de control [2].

A continuación se describen cada uno de estos canales:

- **Canal de Control de Difusión, BCCH (Broadcast Control Channel):** Es un canal para el enlace de bajada que controla la información. Lleva información relacionada

con la celda que identifica la red, la misma que es usada en la selección de celda y handover [6].

- **Canal de Control de Voceo, PCCH (Paging Control Channel):** Este canal se utiliza para notificar llamadas o mensajes entrantes a los usuarios en un área determinada. Este canal sólo se define en la dirección de enlace descendente.
- **Canal de Control Dedicado, DCCH (Dedicated Control Channel):** Es un canal que transmite información de control entre el UE y el RNC y es bidireccional [2].
- **Canal de Control Común, CCCH (Common Control Channel):** Un Canal bidireccional para la transmisión de información de control entre el Nodo B y el UE [2]. Dentro de esta categoría se encuentran el canal de acceso aleatorio, RACH (Random Access Channel), por medio de este canal los UE envían una petición de inicio de llamada y el canal de acceso admitido, AGCH (Access Grant Channel), a través de este canal el sistema asigna recursos a los UE.

#### 1.4.2.1.2. Canales de tráfico

Estos canales son utilizados para la transferencia de voz o datos.

A continuación se describen cada uno de estos canales [2]:

- **Canal de Tráfico Dedicado, DTCH (Dedicated Traffic Channel):** Es un canal dedicado a una estación móvil, transfiere la información correspondiente de un determinado usuario. Existe tanto en la dirección de enlace ascendente y enlace descendente.
- **Canal de Tráfico Común, CTCH (Common Traffic Channel):** Es un canal de enlace descendente, transporta información de usuarios dedicada para todos o un grupo de estaciones móviles en una celda dada.

### 1.4.2.2. Mapeo entre canales lógicos, canales de transporte y canales físicos

Ahora que ya se han mencionado los canales de transporte, canales físicos y canales lógicos, se puede hablar sobre el mapeo entre canales lógicos, canales de transporte y canales físicos, esto hace referencia a conexiones entre canales.

A continuación en la Figura 1.8 se muestra el mapeo de los canales para los dos enlaces, ascendente y descendente.

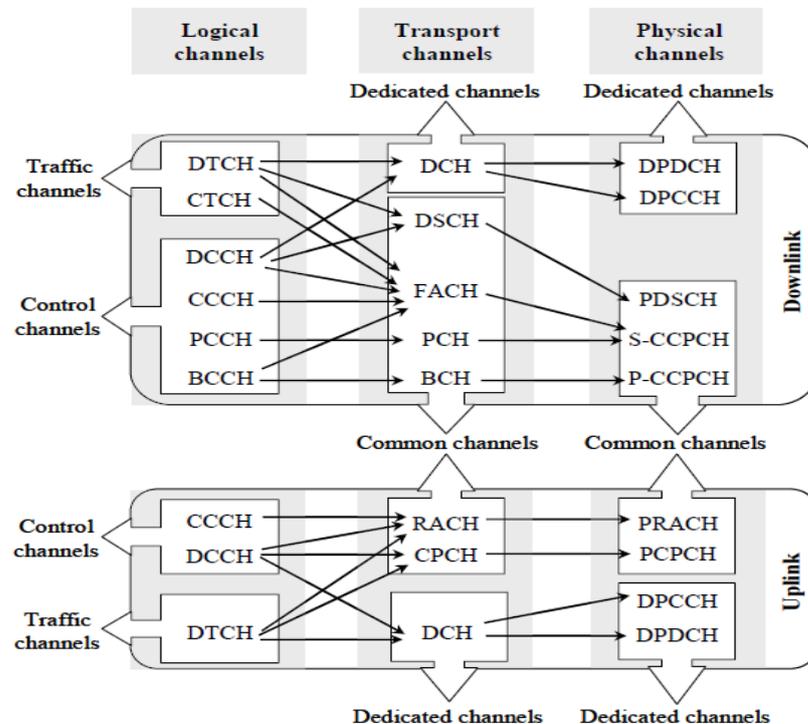


Figura 1.8 Mapeo entre canales lógicos, canales de transporte y canales físicos [1].

### 1.4.3. Capa RLC

La capa de Control de Radio Enlace, RLC (Radio Link Control), establece la conexión entre la estación móvil y la UTRAN.

La capa RLC proporciona la transmisión de datos mediante la petición de repetición automática, ARQ (Automatic Repeat reQuest) [2].

El protocolo de control de enlace de radio puede operar en tres modos para la transferencia de datos:

- **Modo transparente, TM (Transparent mode):** En este modo ofrece los servicios de segmentación y transferencia de datos del usuario.
- **Modo no reconocido, UM (Unacknowledged Mode):** La entrega de los datos no son garantizados debido a que no existen protocolos de transmisión. En este modo se ofrecen los servicios de segmentación, concatenación, detección de errores, relleno y cifrado [2].

- **Modo reconocido, AM (Acknowledged Mode):** Para corrección de errores emplea el ARQ. Este modo ofrece los servicios de concatenación, transferencia de datos de usuario, relleno, control de flujo y cifrado.

#### 1.4.3.1. Funciones de RLC

La Capa de Control de Radio enlace, RLC (Radio Link Control) ofrece servicios a capas superiores mediante puntos de acceso de servicio, SAPs (Service Access Points), los cuales son descritos como el soporte de la capa RLC, maneja los paquetes de datos [2].

Los servicios que son proporcionados por RLC, en el plano de control se conocen como Radio portadores de señalización, SRB (Signalling Radio Bearers) y en el plano de usuario se conoce como Radio portadores, RB (Radio Bearers).

Entre otras, sus funciones principales incluyen [2]:

- **Segmentación:** esta función divide en segmentos la unidad de paquete de datos, PDU (Packet Data Unit) de capas más

superiores, en pequeñas unidades de carga útil, PU (Payload Units).

- **Concatenación de los datos:** si el contenido de una unidad de servicio de datos, SDU (Service Data Unit) no llena un número de unidades de carga útil, el primer segmento de la siguiente unidad de servicio de datos puede ser puesto en la unidad de carga útil concatenada con el último segmento de la unidad de servicio de datos anterior.
- **Relleno:** cuando la concatenación no es aplicable y los datos restantes para ser transmitidos no llenan determinado tamaño de PDU, el resto del campo de datos está lleno con bits de relleno.
- **Transferencia de datos de usuario.**
- **Corrección de errores:** esta función proporciona la corrección de errores para retransmisiones en el modo reconocido.

- **Detección de duplicados:** se encarga de detectar unidades de paquetes de datos duplicados y asegura que sea entregada una sola vez a la capa superior.
- **Control de flujo:** es una función que permite a un receptor RLC controlar la tasa en la cual la entidad transmitida puede ser enviada.
- **Comprobación de número de secuencia (UM).**
- **Protocolo de detección y recuperación de errores.**
- **Cifrado:** esta función se realiza en la capa RLC para los modos reconocido y no reconocido con el propósito de proporcionar seguridad.

#### 1.4.4. Capa RRC

La Capa de Red está integrada por el elemento de Control de Recursos de Radio, RRC (Radio Resource Control), el cual se encarga de controlar la configuración de las capas anteriores. El

RRC es el encargado de la coordinación de los recursos de radio en la unidad móvil, para ello selecciona una celda dentro de la red para que la unidad móvil pueda comunicarse dentro de ella correctamente.

Sus funciones abarcan todos los procedimientos que un móvil debe llevar a cabo dependiendo de su estado RRC con el fin de asegurar una eficiente transmisión de radio de acuerdo con los requisitos móviles.

#### **1.4.4.1. Funciones de RRC**

La Capa Control de Recursos Radio, RRC (Radio Resource Control), el cual pertenece al plano de control, ofrece servicios a los niveles superiores por medio de los puntos de acceso de servicio (SAPs).

Entre otras, sus funciones principales incluyen [10]:

- Difusión de los mensajes del sistema: para que el móvil pueda conocer la configuración de la red celular.

- Establecimiento, mantenimiento y actualización de una conexión RRC entre el UE y la UTRAN: las capas superiores solicitan al UE para establecer la primera conexión con el móvil.
- Funciones de movilidad de conexión RRC: realiza evaluación, decisión y ejecución en relación con la movilidad para mantener una conexión cuando los móviles se cambien de una celda a otra.
- El control de QoS solicitados: se asegura de que la QoS solicitada para los portadores de radio pueden cumplirse (asignación de un número suficiente de recursos de radio para la conexión).
- Control de potencia de lazo exterior: el RRC ajusta el objetivo del control de potencia de lazo cerrado.
- Control de las funciones de seguridad (cifrado): proporciona los procedimientos para el establecimiento de cifrado entre la UE y la UTRAN.

- Arbitraje de recursos de radio en enlace ascendente DCH: controla la asignación de recursos de radio de enlace ascendente DCH, utilizando un canal de difusión para enviar información de control a todos los usuarios involucrados.
- Selección inicial de celda: la selección apropiada de la celda se basada en mediciones en modo inactivo.
- Notificación: sirve para proporcionar la información a todas las estaciones móviles en una o más celdas.
- Control de los canales de transporte y canales físicos: se encarga del control de potencia de lazo abierto en el enlace de bajada.

#### **1.4.5. Protocolo PDCP**

El Protocolo de Convergencia de Paquetes, PDCP (Packet Data Convergence Protocol) sólo existe en el plano de usuario y es sólo para los servicios de la conmutación de paquetes (PS). El PDCP

ofrece servicio de transferencia de datos de usuario, usando compresión de cabeceras para mejorar la eficiencia en el canal radio [2].

Las principales funciones de PDCP son:

- La compresión de la información de control de protocolo redundante en la entidad transmisora y descompresión en la entidad receptora [2].
- Mantenimiento de los números de secuencia PDPC para las portadoras radio que estén configuradas para soportar pérdidas en un cambio de SRNS [7].

Los servicios ofrecidos por PDCP son denominados radio portadores (RB).

#### **1.4.6. Protocolo BMC**

El Protocolo de control de Difusión/Multidifusión, BMC (Broadcast/Multicast Control) sólo existe en el plano de usuario.

Este protocolo proporciona un servicio de transmisión de difusión/multidifusión en la interfaz de radio para datos de usuario comunes en Modo Transparente, TM (Transparent mode) o Modo no Reconocido UM (Acknowledged Mode). Utiliza UM RLC usando el canal lógico CTCH que se asigna en el canal de transporte FACH [2].

Entre otras sus funciones principales de BMC son:

- Almacenamiento de los mensajes de difusión en las celdas, transmisión de los mensajes BMC al UE.
- Entrega de los mensajes BMC a las capas superiores.

El servicio ofrecido por este protocolo se denomina también radio portador (RB).

## **CAPÍTULO 2**

### **ARQUITECTURA UMTS**

Como lo mencionamos en el capítulo 1, la arquitectura general del sistema UMTS está integrada por tres entidades:

- La estación móvil o equipo de usuario (UE).
- La red UTRAN (UTRA Network).
- La red central (CORE NETWORK).

En esta sección hablaremos de cada uno de ellos, sobre su estructura y funcionamiento (UMTS).

## **2.1. Equipo de Usuario (UE)**

Es el equipo que el usuario utiliza para obtener la comunicación con una estación base en el momento y el lugar que lo deseen, siempre y cuando exista cobertura.

### **2.1.1. Arquitectura del UE**

El equipo usuario está formado por:

- Módulo de la Tarjeta Universal de Circuito Integrado (UICC).
- El Equipo Móvil (ME).

#### **2.1.1.1. Módulo de la Tarjeta Universal de Circuito Integrado (UICC)**

Es un circuito extraíble que guarda información correspondiente al usuario y a los servicios que posee el mismo. Este módulo lo conforman:

- **Módulo de identidad de suscripción UMTS (USIM):** Es una tarjeta inteligente que contiene la identidad del abonado

(IMSI), realiza la autenticación y guarda las claves de autenticación y encriptación y alguna información de suscripción que es necesaria en el terminal, también datos temporales sobre la ubicación actual del UE, información sobre la disponibilidad y permiso de acceso a servicios para el abonado, datos fijos dados por el fabricante y el operador móvil, información que el abonado guarda, sean estos números telefónicos mensajes multimedia o de texto etc. Toda esta información es almacenada en el HLR del mismo que hablaremos más adelante.

- **Módulo IP Multimedia de Servicios de Identidad (ISIM):**  
Es una aplicación multimedia ejecutada por un UICC, cuya finalidad es de proveer la autenticación del abonado (IMS), guarda información de las claves de seguridad del abonado, Identidad Pública Multimedia IP (IMPU), la Identidad Privada Multimedia IP (IMPI), el nombre de dominio del punto de entrada en el extremo de la red.

### 2.1.1.2. El Equipo Móvil (ME):

Como su nombre lo indica, es el dispositivo móvil o terminal de radio utilizado para las comunicaciones de radio sobre la interfaz Uu.

El ME contiene dos módulos:

- Terminación Móvil (MT).
- Equipo Terminal (TE).

#### 2.1.1.2.1. Terminación Móvil (MT)

Se encarga de la terminación de la transmisión radioeléctrica y gestiona las características del TE en el radioenlace y de la red UMTS.

La MT está compuesta por:

- **Terminación de Red (NT):** Se encarga de la gestión de movilidad (Conmutación por paquetes y conmutación por

circuitos), los datos que éste genera son enviados a la red UTRAN para así llegar a la CN.

- **Terminación de Radio (RT):** Se encarga de la gestión de los recursos de radio y acceso a la red y se comunica con la red UTRAN a través de varios protocolos.
- **Tu:** Interfaz que conecta UTRAN y CN.

#### 2.1.1.2.1.1. Clasificación de la MT

Según las características de radio y de la red UMTS la MT puede clasificarse en:

- **Un solo Modo de radio:** Usa únicamente a UMTS como interfaz de radio.
- **Multi-Radio:** Utiliza distintas interfaces de radio, como lo son GSM y UMTS, corresponde a los teléfonos llamados duales.

- **Una sola red:** Utiliza únicamente un CN, operando en modo de conmutación por paquetes, por circuitos o ambos (híbrido).
- **Multi-Red:** Utiliza varios CN al mismo tiempo.

#### 2.1.1.2.2. Equipo Terminal (TE)

Proporciona las funciones de aplicación de usuario final, tales como: control de llamadas, codificación multimedia de autenticación del abonado (IMS), los paquetes IP. Consta de:

- **Adaptador de Terminal (TA):** Sirve para conectarse con la interfaz Cu.
- **Interfaz Cu:** Es la conexión entre la tarjeta inteligente USIM y el UE.

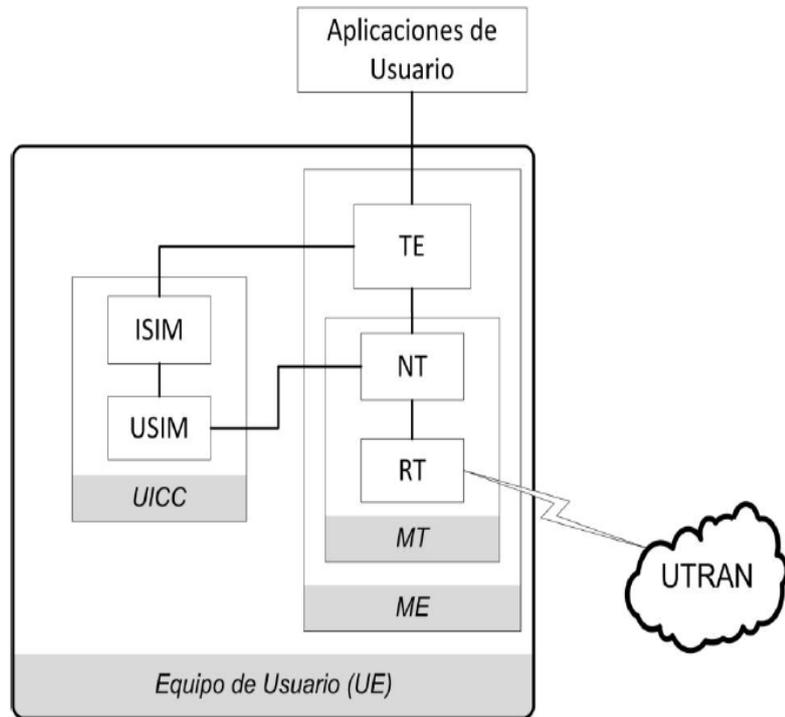


Figura 2.1 Arquitectura del Equipo de usuario [14].

#### 2.1.1.2.2.1. Tipos de Equipos Terminales

En UMTS los Equipo Terminales (UE) se dividen en cuatro tipos:

- **UE Clásico:** Implementa MT de una sola red, aunque puede operar en GSM y UMTS, pero no de manera simultánea, es económico poseyendo funciones limitadas, pero mejores que las de GSM/GPRS.

- **UE Modo Dual:** Implementa MT multi-red, permitiendo que se pueda realizar el handover de un sistema a otro, ya que este UE puede usar a redes GSM o UMTS seleccionando automáticamente que red utilizar.
- **UE Multimedia:** Es parecido al UE Modo Dual pero por sus aplicaciones para servicios multimedia se puede decir que es más inteligente, puesto que es la combinación de un celular más una computadora.
- **UE Especiales:** Utiliza modo por conmutación de paquetes y están destinados a fines especiales como monitorización, telemetría donde maneja poco flujo de datos que son transmitidos de manera frecuente.

## 2.2. Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRAN)

UTRAN (Terrestrial Radio Access Network), es la Red de Acceso Radio Terrestre UMTS, que se encarga de toda la funcionalidad radio del sistema, a través de un conjunto de Subsistema de Redes de Radio (RNS) que son el modo de comunicación de la red UMTS.

El sistema UTRAN ha sido desarrollado para alcanzar altas velocidades de transmisión. Nuevos tipos de transferencia de datos y algoritmos que ayudan a alcanzar esta velocidad.

Un RNS está compuesto de un RNC, y uno o varios nodos B, además ofrece:

- La localización y liberación de recursos de radio específicos para establecer modos de conexión.
- Es responsable de los recursos y de la transmisión / recepción en un conjunto de celdas.

### **2.2.1. Arquitectura UTRAN**

Dispone de dos interfaces que conectan con la central de la red y el equipo de usuario. La interfaz Iu y la interfaz Uu, respectivamente.

UTRAN también se compone de dos elementos distintos:

- Nodo B (estación base).
- RNC (Radio Network Controller).

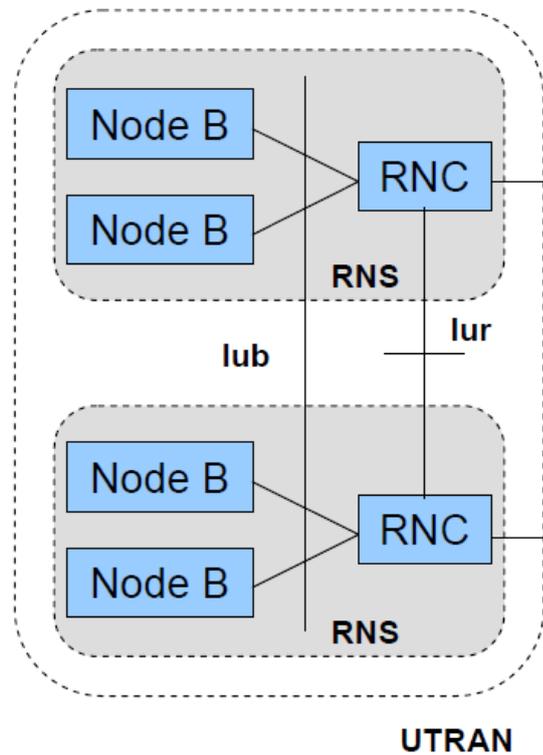


Figura 2.2 Arquitectura general de UTRAN [11].

#### 2.2.1.1. Nodo B

Nodo B es el equivalente en UMTS a la BTS de GSM (Estación Base). La principal función del Nodo B es el intercambio de información con el UE a través de la interfaz Uu, es decir, que es el responsable de la creación, mantenimiento, transmisión y recepción de un enlace de radio entre el UE y una o más celdas UMTS. Es decir que, es el que provee la cobertura de la red.

El Nodo B está encargado de generar de códigos de acceso a la red y también del control de potencia de la señal emitida por éste hacia el UE.

En pocas palabras es un nodo lógico responsable de la transmisión y recepción (Tx y Rx) de radio en una o más celdas a y desde el equipo de usuario, se encarga también del filtrado, la amplificación, la modulación y demodulación de señal. Lo hace con las operaciones de la interfaz Iub hacia el RNC y Uu hacia la UE.

El RNC recibe la información más importante a través del Nodo B, para llevar a cabo sus funciones correctamente.

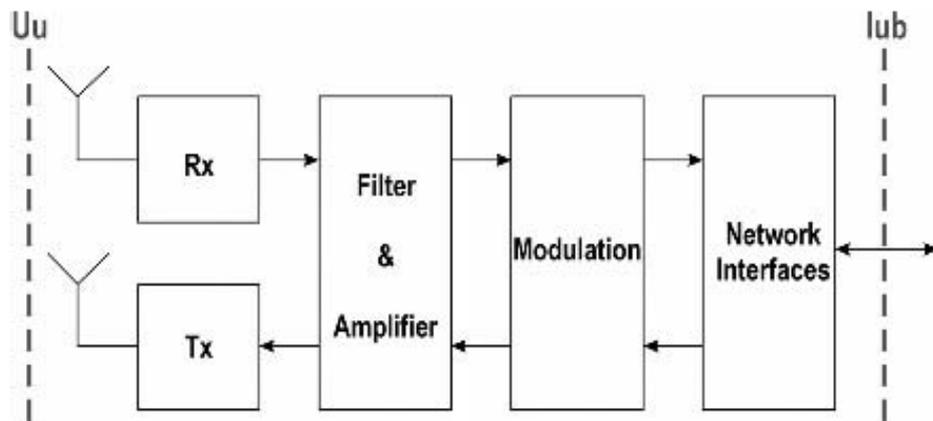


Figura 2.3 Estructura del Nodo B [3].

#### 2.2.1.2. Controlador de la Red Radio (RNC)

El RNC posee y controla los recursos de radio en su dominio (el Nodo B conectado a él). RNC es el punto de acceso al servicio para todos los servicios UTRAN proporciona a la CN (Core Network), por ejemplo la gestión de las conexiones al UE.

El RNC junto con su respectivos nodos B forman un RNS y las RNC se pueden conectar a través de la interfaz Iur, y también puede estar conectado al nodo B con la interfaz Iub. Es decir que el RNC es el que se encarga de gestionar al RNS.

El RNC cubre dos áreas:

- **Gestión de Recursos Radio (RRM):** El Radio Resource Managements, encargado de la gestión de recursos radio de la UTRAN que contiene algoritmos que permiten, garantizar la estabilidad y la calidad de servicio de las conexiones de radio.
- **Control de Funciones UTRAN:** Con relación al establecimiento y mantenimiento de las radio portadoras (RBs).

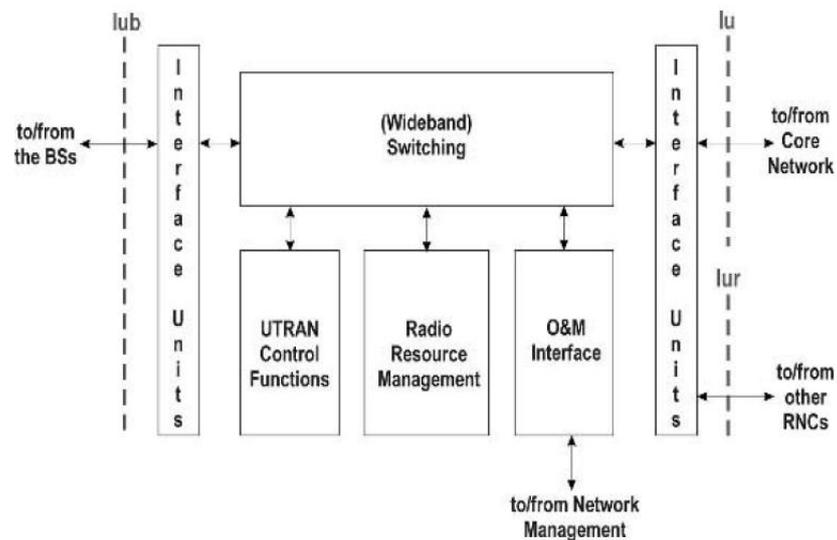


Figura 2.4 Arquitectura RNC [3].

### 2.2.1.2.1. Tipos de RNC

Debido a la presencia de la interfaz Iur entre los RNC de UTRAN, las especificaciones identifican diferentes tipos de RNC de acuerdo con el papel que desempeñan en cada comunicación.

- **RNC servidor (SRNC):** Cuando un móvil es activo, una conexión RRC se establece entre el móvil y una RNC en la UTRAN. El SRNC es el que se hace cargo de dicha conexión. Es decir, controla la conexión entre un UE y la red central (CN).
- **RNC de desplazamiento (DRNC):** Es el nuevo RNC con el que el UE inicia una comunicación durante el Soft Handover o traspaso suave. EL SRNC y DRNC están ligados a las conexiones con el UE y ambos se encargan de gestionar los recursos dedicados.

El DRNC cumple un papel similar al SRNC, excepto que se ocupa solamente en el caso de un Soft Handover.

Si un UE inicialmente establece una conexión con un RNC éste se convierte en su SRNC. Si el UE se mueve hacia un borde de la celda, el SRNC puede decidir poner el UE en el estado de Soft Handover, si lo hace, el UE recibe los nuevos niveles de referencia de un RNC diferente, que se convierte en el DRNC.

- **RNC de control (CRNC):** Se encarga de controlar los recursos de un Nodo-B. Es responsable del control de carga y congestión, de ver si los nuevos enlaces de radio se establecerán. El CRNC está lógicamente ligada al Nodo-B, no las conexiones y administra los recursos comunes y compartidos.

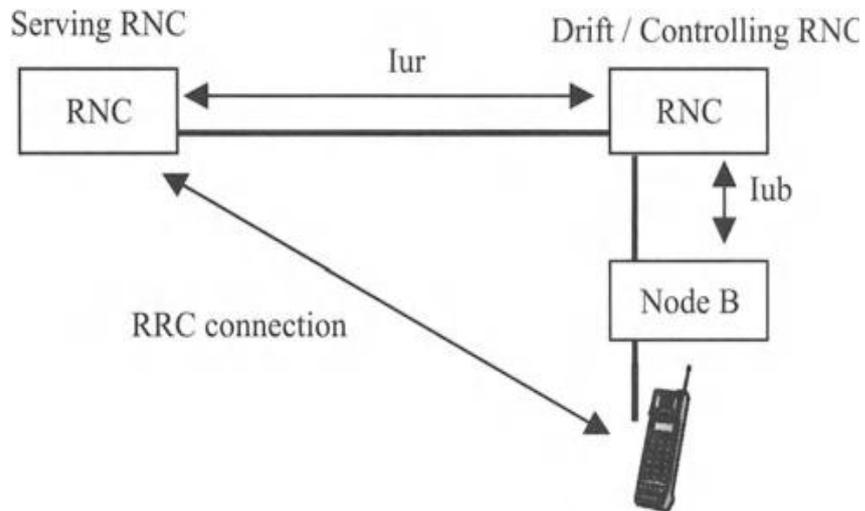


Figura 2.5 Tipos de RNC [15].

### 2.3. Red Central (CN)

Core Network o Red Central es la Red básica que se ocupa principalmente de las funcionalidades que no están directamente relacionados con la radio.

El núcleo de red incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Las funciones de transporte soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. Las funciones de inteligencia incluyen prestaciones como el encaminamiento y la gestión de la movilidad. A través del núcleo de red, la red UMTS se

conecta con otras redes de telecomunicación, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles de UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes [12].

### **2.3.1. Principales elementos de CN**

La Core Network consta de:

- Home Location Register (HLR)
- MSC / VLR
- Gateway MSC (GMSC)
- Serving GPRS Support Node (SGSN)
- Gateway GPRS Support Node (GGSN)

#### **2.3.1.1. Home Location Register (HLR)**

Es una base de datos ubicada en el sistema principal del usuario que almacena la copia maestra del perfil de servicio del usuario. También se encarga de almacenar la posición de sus usuarios (referenciando a una MSC, VLR o SGSN), cuando no se

encuentran en la zona, esto sirve para enrutar las llamadas hacia el terminal cuando no se encuentra en la zona propia.

#### **2.3.1.2. MSC / VLR**

Cuyas siglas significan Centro de Conmutación de Servicios Móviles/Registro de localización de visitantes. El MSC es el switch y el VLR es la base de datos que sirve a la UE en su ubicación actual para Servicios de circuitos conmutados (CS).

Las principales funciones del MSC / VLR son:

- Interoperabilidad con otro tipo de redes.
- Manejo de los procesos de Handover.
- Almacena los datos para el centro de la facturación.
- Manejo de los parámetros para la encriptación.
- Señalización entre diferentes interfaces.
- Control y funcionamiento de la cancelación de eco.

### **2.3.1.3. Gateway MSC (GMSC)**

Es el punto del conmutador donde la red UMTS se conecta a redes CS externas, utilizando servicios de conmutación de circuitos. Todas las conexiones CS entrantes y salientes pasan por GMSC.

### **2.3.1.4. Serving GPRS Support Node (SGSN)**

Es similar al MSC / VLR pero se utiliza típicamente para servicios de conmutación de paquetes (PS).

### **2.3.1.5. Gateway GPRS Support Node (GGSN)**

Es similar a la MSC pero para servicios de conmutación de paquetes está conectado a las redes PS externos.

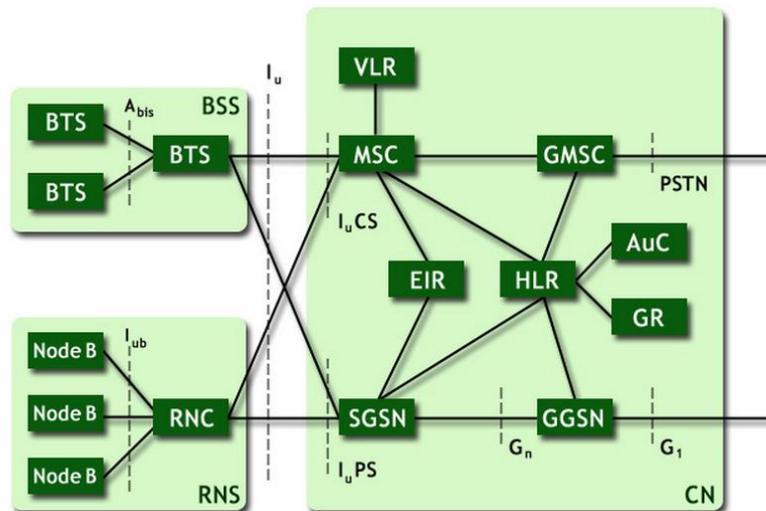


Figura 2.6 Elementos e interfaces del CN [13].

### 2.3.2. Arquitectura de la Core Network

Núcleo de la red se conecta a través de la interfaz  $I_u$  a la Red UTRAN, se divide principalmente en dos dominios:

- Conmutación por Circuitos (CS).
- Conmutación por paquetes (PS).

### **2.3.2.1. Conmutación por Circuitos (CS)**

Se ocupa principalmente de encaminar los tráficos de voz y datos en modo circuito y de la interconexión a la redes de conmutación de circuito externo.

Se conecta a la UTRAN a través del interfaz Iu-CS y los principales elementos son:

- Mobile service Switching Centre/ Visited Location Register (MSC/VLR).
- Gateway MSC (GMSC).

### **2.3.2.2. Conmutación por paquetes (PS)**

Se ocupa principalmente del tráfico de paquetes de datos y conectar la red móvil con redes de conmutación de paquetes externa.

Se conecta a la UTRAN a través del interfaz Iu-PS y sus principales elementos son:

- Nodo de Soporte (SG).
- Gateway GPRS.
- Nodo de Soporte (GG).
- Registro GPRS (GR).

Algunos elementos son comunes en ambos dominios. Estos elementos son:

- Home Location Register (HLR).
- Equipment Identity Register (EIR).
- Centro de Autenticación (AUC).

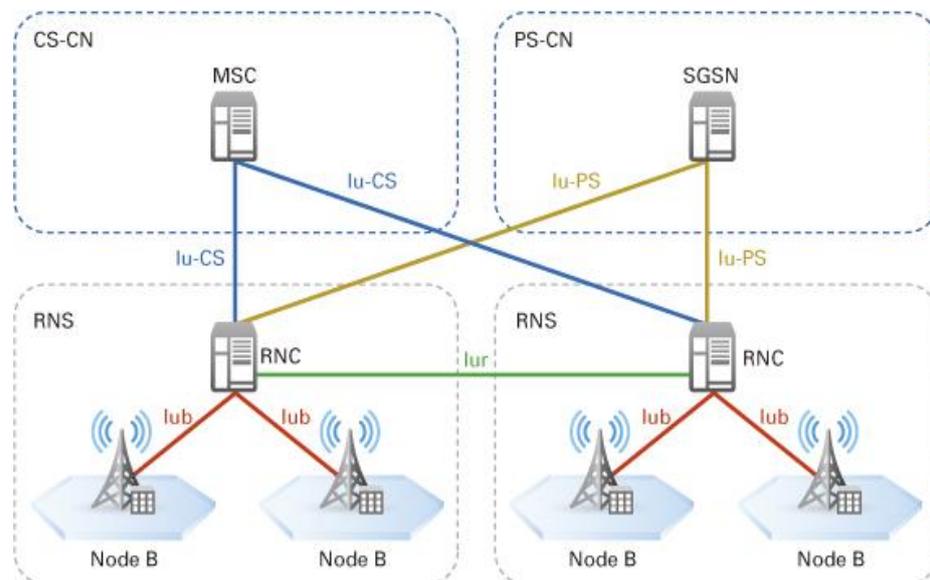


Figura 2.7. Arquitectura CN [7].

## 2.4. Protocolos de Red de Acceso

La red de acceso UTRAN tiene las siguientes interfaces:

- Iu: entre el RNC y la CN.
- Iub: entre el RNC y el Nodo B.
- Iur: entre RNCs.

Cada una de estas interfaces soporta dos tipos de protocolo: protocolos de aplicación (AP) que incluyen señalización de intercambios entre partes del equipo, y los protocolos de trama (FP) que se utiliza para el transporte de datos de usuario.

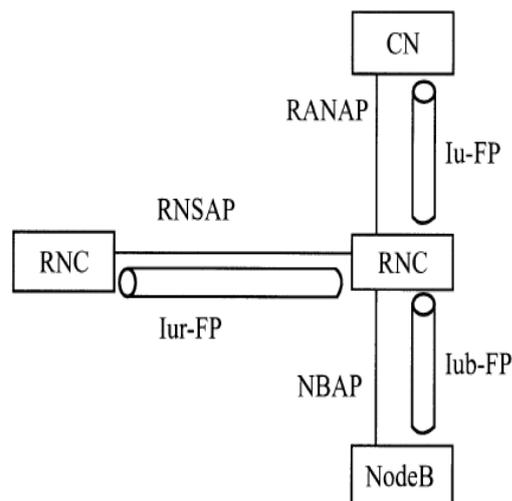


Figura 2.8. Protocolos de Red [15].

## **2.4.1. Protocolos de Aplicación (AP)**

### **2.4.1.1. Protocolos de Red RANAP**

El protocolo RANAP (Radio Access Network Application Part) se utiliza para la señalización entre la Core Network (es decir, el MSC o el SGSN) y el RNC.

Los procedimientos y mensajes soportados por el protocolo RANAP se pueden dividir en dos categorías: los mensajes dirigidos a un usuario o conexión específica, y los mensajes dirigidos a la RNC.

Los mensajes dirigidos a una conexión específica servirán para poner en práctica las funciones como:

- Reubicación SRNC.
- Las funciones de seguridad.
- La transmisión de información de señalización de capas superiores.

Los mensajes dirigidos a la RNC proporcionan las siguientes funciones:

- Re-inicialización de la RNC o el MSC, en el caso de una falla grave del software.
- Paginación de un móvil.

#### **2.4.1.2. Protocolo de Red NBAP**

El protocolo NBAP (Node B Application Part) se utiliza para la señalización de los intercambios entre el RNC y el Nodo B, existen dos categorías de intercambios: los dirigidos a un usuario específico, identificado en el nivel de protocolo NBAP por un CRNC Identificación del contexto de la comunicación, y los dirigidos al Nodo B en sí.

Los dirigidos a un usuario específico las siguientes funciones:

- Gestión de enlaces de radio.
- Gestión de las mediciones de radio para los canales dedicados.

- Control de Potencia, esta función permite al RNC ajustar el nivel de potencia del Nodo B sobre los canales de enlace descendente.

Los mensajes dirigidos al Nodo B permiten las siguientes funciones:

- La gestión de los canales de transporte comunes de la celda o celdas del Nodo B, es decir, la configuración de la PICH, PRACH, FACH, PCH y RACH.
- Configuración de la celda o celdas apoyados por el Nodo B.
- Configuración de la información del sistema difundida por las células del Nodo B.
- La gestión de las mediciones de radio en los canales comunes de la celda.

#### **2.4.1.3. Protocolo de Red RNSAP**

El RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part) se utiliza para la señalización de intercambio entre dos RNCs en la UTRAN.

Como resultado, incluye todas las funciones del protocolo NBAP asociado con enlaces en modo dedicado:

- Gestión de enlaces de radio.
- Gestión de las mediciones de radio para los canales dedicados.
- Control de potencia.

Funciones relativas al Nodo B (configuración y gestión de canales comunes) no están presentes en la RNSAP ya que son proporcionados por el RNC de control (CRNC) directamente al Nodo B por medio de la interfaz Iub.

#### **2.4.2. Protocolos de trama (FP)**

Su función principal está limitada al transporte de paquetes de datos desde el plano de usuario.

#### 2.4.2.1. Protocolo de trama en la interfaz lu

- **Modo transparente:** Se lo utiliza para los servicios establecidos en el dominio PS, no proporciona ningún servicio especial, aparte del transporte de datos de usuario. Contienen sólo los datos del plano de usuario. No hay cabecera de protocolo y los marcos son de longitud variable.
- **Modo no transparente:** Se lo utiliza cuando la transferencia de datos de usuario requiere de ciertas funciones especiales de la red de transporte. Además de la transferencia de datos de usuario.

Los protocolos del marco de la interfaz lu proporcionan las siguientes funciones:

- Inicialización del transcodificador (codificación de voz) y el control de la velocidad de datos.
- La gestión de errores.

## **CAPÍTULO 3**

### **GESTIÓN DE RECURSOS RADIO (RRM)**

#### **3.1. Introducción**

Gestión de Recursos de Radio (RRM) es el sistema de control de nivel de interferencia de co-canal y características de transmisión de radio en sistemas de comunicación inalámbrica. El estudio de la RRM sirve para mejorar la utilización de los recursos de radio de la red inalámbrica.

La RRM está situada en el UE, la BS y el RNC dentro de la UTRAN y se encarga de estabilizar la trayectoria de radio que le permite cumplir

con la calidad de servicio establecidos por el servicio a través de la ruta de acceso de radio y se entrega la información a través de ésta.

Los principales objetivos de la gestión de recursos de radio son:

- Maximizar el rendimiento de todos los usuarios con cobertura y capacidad.
- Garantizar la calidad de servicio para diferentes aplicaciones.
- Mantener la cobertura planificada.
- Optimizar la capacidad del sistema.

La gestión de recursos de radio se divide en dos fases:

- **Configuración de recursos de radio:** Es responsable de la asignación de los recursos adecuados a las nuevas solicitudes que entran en el sistema, sin que la red se sobrecargue, manteniendo así la estabilidad del sistema sin poner en peligro la red. Sin embargo, la congestión puede ocurrir debido a la movilidad de los usuarios.
- **Re-configuración de Recursos de radio:** Es responsable de la re-asignación de los recursos dentro de la red cuando

empieza la congestión, para así mantener la calidad de servicio. Se debe cambiar el sistema sobrecargado a sistema de destino por la reordenación de los recursos entre las distintas aplicaciones de la misma red.

### **3.2. Funciones de RRM**

Cumple con tres funciones principales:

- Control de Potencia
- Control de Handoff
- El control de congestión:
  - Control de admisión de llamadas
  - Control de carga
  - Packet Scheduling

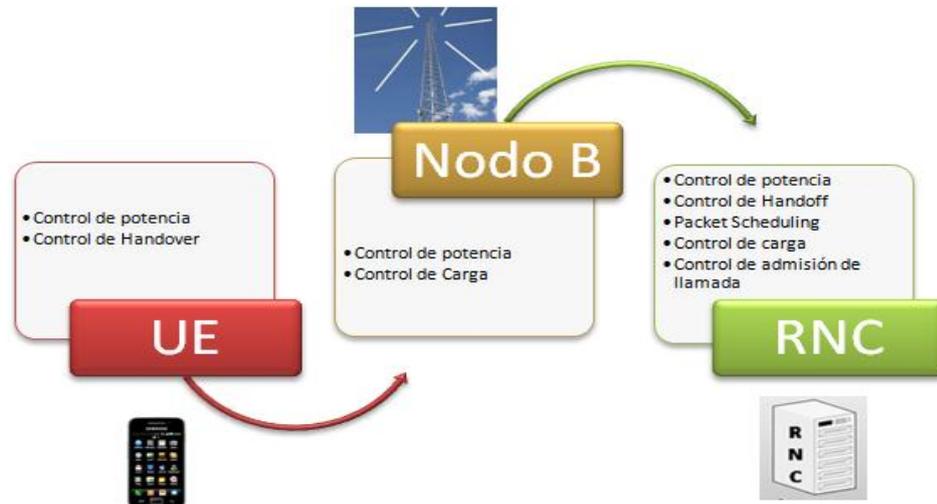


Figura 3.1. Ubicación de las Funciones de RRM [9].

### 3.3. Control de Potencia

El control de potencia es la función más importante y fundamental de la gestión de recursos de radio. En WCDMA, muchos usuarios utilizan la misma frecuencia de radio, así que la interferencia es un tema muy importante en WCDMA. Sin la utilización de un mecanismo de control de potencia preciso, estos sistemas no pueden funcionar.

El control de potencia es especialmente importante para la transmisión de enlace ascendente (UL) para reducir el consumo de potencia del equipo usuario (UE) y, por otro lado, intenta mantener el nivel de recepción y la calidad recibida reduciendo los niveles de interferencia, mientras se mantiene la conexión establecida con la Calidad de

Servicio acordado. Esto quiere decir, que a través de niveles umbrales se va cambiando la potencia del transmisor para reducir el consumo de potencia.

En la transmisión de enlace ascendente (UL) cuando un UE está transmitiendo algo, al mismo tiempo de su transmisión causa interferencia para los otros UE en esa zona. En la transmisión de enlace ascendente (UL), si un equipo de usuario está transmitiendo señales de alta potencia en una ubicación cercana al Nodo B, puede fácilmente enmascarar los otros equipos de usuario que están a más distancia que él o al borde de la celda, incluso puede bloquear toda la celda. Por otro lado, si un UE está transmitiendo a muy baja potencia entonces, el Nodo B nunca captará a ese UE. Este fenómeno se conoce como el problema de cerca-lejos.

"Las estaciones móviles UE1 y UE2 operan dentro de la misma frecuencia, separables en la estación base sólo por sus respectivos códigos de ensanchamiento. Puede suceder que el UE2 en el borde de la celda sufre una pérdida de trayectoria, por ejemplo 70 dB por encima de la de UE1 que está cerca de la estación de base BS. Si no había ningún mecanismo para UE1 y UE2 para poder ser controlado al mismo nivel en la estación base, UE1 podría fácilmente enmascarar a

UE2 y por lo tanto, bloquear una gran parte de la celda, dando lugar al denominado problema de cerca-lejos. La estrategia óptima en el sentido de la capacidad de maximización es igualar la potencia recibida por bit de todas las estaciones móviles en todo momento". [2]

Para evitar el efecto enmascarado por la señal de un UE más cerca del Nodo B, la salida de cada UE se controla de modo que la potencia recibida en el Nodo B es constante a partir de todos los UE.

Mientras que en la transmisión de enlace descendente (DL) no existe efecto cerca-lejos, pero la capacidad del sistema de radio se determina por la potencia requerida para cada equipo de usuario. Es por eso, que esto es esencial para transmitir la señal a un nivel mínimo de calidad de la señal deseada en el extremo receptor o en la región de alta interferencia. Es decir, los UE pueden necesitar potencia adicional para aumentar la señal débil y para superar la interferencia en la celda cercana.

Los principales objetivos del control de potencia en UMTS son:

- Proporcionar suficiente energía para cada equipo de usuario
- Control de la interferencia

- Superar el efecto cerca-lejos
- Maximizar la vida de la batería del UE

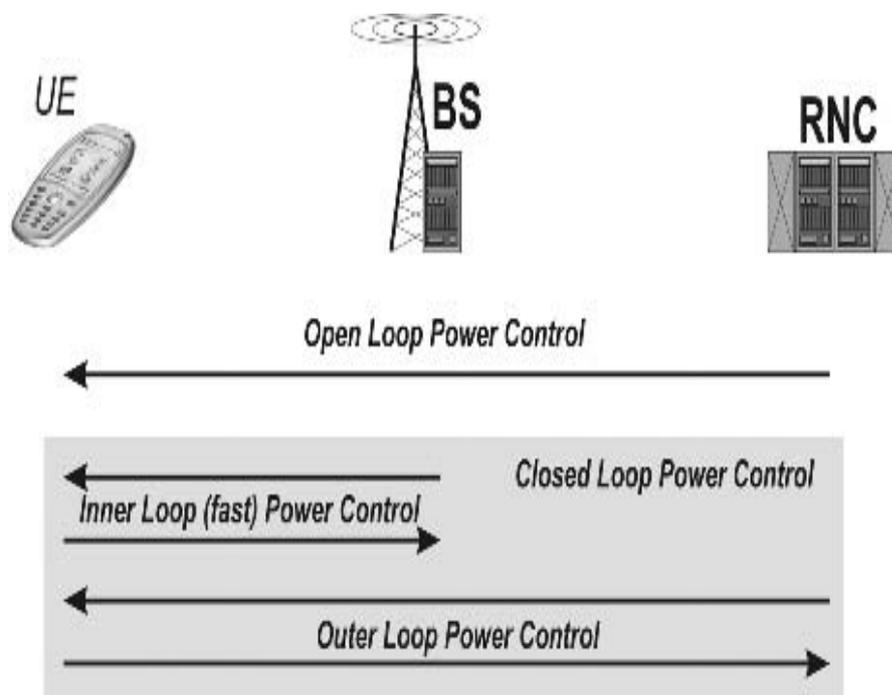


Figura 3. 2. Mecanismos de control de potencia empleados en WCDMA [2].

Para gestionar el control de potencia adecuada en WCDMA, el sistema utiliza dos mecanismos de control de potencia diferentes:

- Control de potencia de lazo abierto:
  - Control de Potencia de lazo abierto de enlace ascendente.

- Control de Potencia de lazo abierto de enlace descendente.
  
- Control de potencia de lazo cerrado:
  - Control de potencia de lazo interior.
  - Control de potencia de lazo exterior.

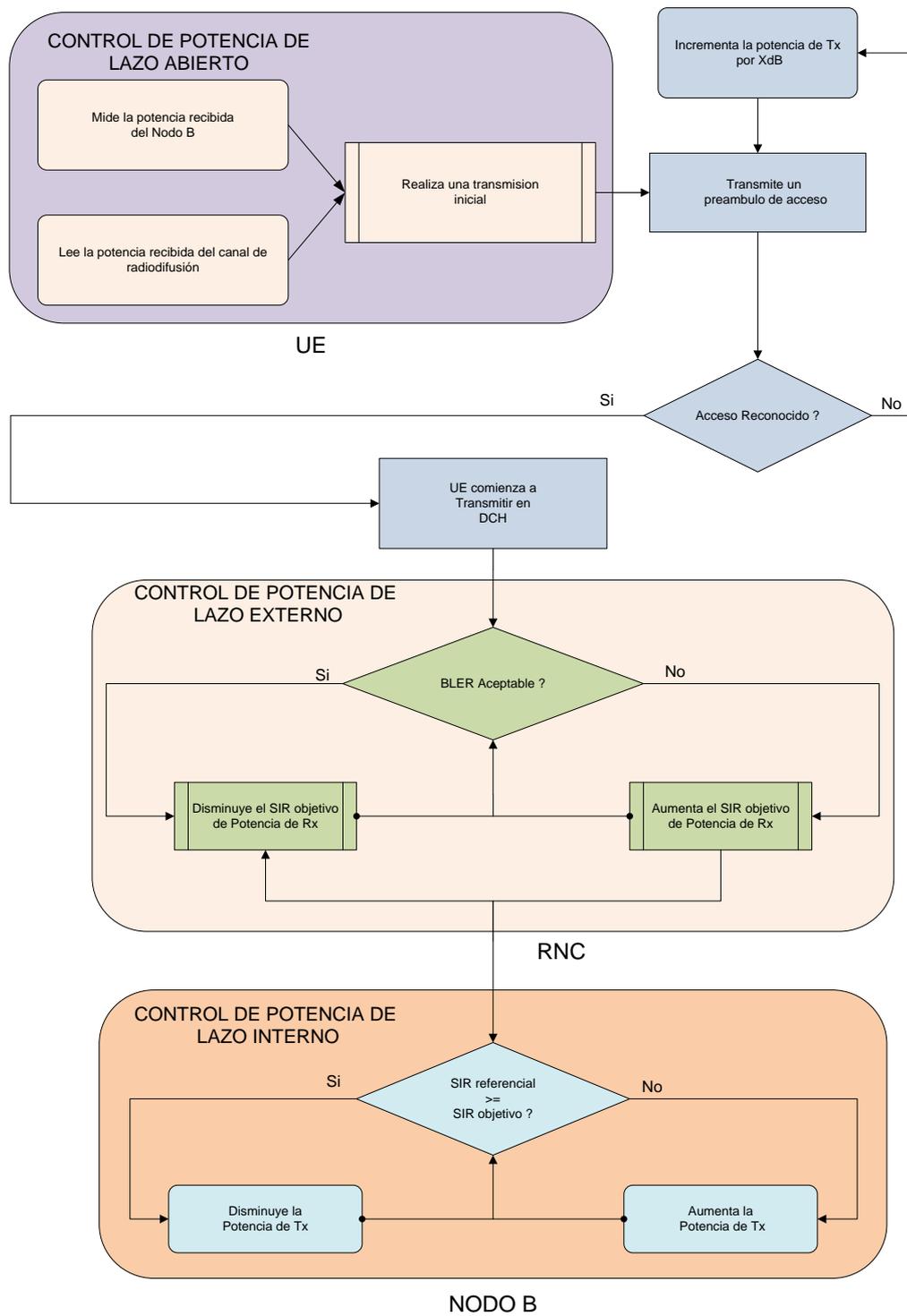


Figura 3.3. Algoritmo del Control de Potencia [2].

### 3.3.1. Control de potencia de lazo abierto

El control de potencia de lazo abierto se lleva a cabo en el UE. Cuando un usuario comienza a acceder a una red de radio no puede controlar la potencia con la que accederá al sistema y esta potencia inicial será una variable aleatoria. Así pues tenemos dos escenarios:

- Cuando la potencia es insuficiente para ser recibida por el Nodo B ésta comienza a aumentar de manera constante en dB hasta que reciba la confirmación de la estación base de que su señal ha sido recibida.
- Cuando la potencia es excesiva entra directamente a la ejecución de los algoritmos de control de potencia

La tolerancia de control de potencia de lazo abierto es de  $\pm 9$  dB en condiciones normal o  $\pm 12$  dB en condiciones extremas.

En el control de potencia de lazo abierto, el UE examina las mediciones del nivel de potencia recibida del Canal Piloto Común (CPICH) para establecer su nivel de energía inicial.

La potencia de la señal piloto recibida se reduce a medida que aumenta la distancia entre el Nodo B y el UE, y aumenta a medida que disminuye la distancia entre Nodo B y el UE.

El Nodo B transmite la información de control de potencia en el canal de radiodifusión que da la información de potencia de transmisión real de la CPICH desde el Nodo B.

Con la ayuda de esta información, un UE puede estimar la pérdida de trayectoria y por lo tanto, se puede estimar la distancia desde el Nodo B y la potencia necesaria para transmitir la señal de ese UE. Entonces se usa para proporcionar un ajuste de potencia inicial necesario del UE al comienzo de una conexión.

Entonces el control de potencia de lazo abierto estima los ajustes de potencia iniciales en enlace ascendente y descendente sobre la base de cálculos de pérdida de trayectoria en dirección de enlace descendente, debido a que están en la misma banda de frecuencia donde existe una correlación significativa entre el promedio de pérdida de ambos enlaces.

El equipo usuario (UE) mide la Potencia de Código de la Señal Recibida (RSCP) en el Canal Piloto Común Primario (P-CPICH), el equipo usuario (UE) fija las potencias iniciales en el enlace ascendente para el Canal de Acceso Aleatorio (RACH) y para el Canal de Control Físico Dedicado (DPCCH).

El equipo usuario (UE) comienza el control de potencia en lazo abierto de enlace ascendente a un nivel de potencia, obedeciendo la siguiente ecuación:

$$DPCCH_{InitialPower} = DPCCH_{PowerOffset} - CPICH_{RSCP} \quad (3.1)$$

Donde:

$DPCCH_{InitialPower}$  : Es la potencia inicial medida para DPCCH.

$CPICH_{RSCP}$ : Es la potencia de código de la señal recibida medida por la estación móvil DPCCH que es calculada en el RNC y enviada al UE.

El control de potencia de lazo abierto en el enlace ascendente busca asegurar que las nuevas conexiones que se establecen causen un mínimo de interferencia.

### **3.3.2. Control de potencia de lazo cerrado**

El control de potencia de lazo cerrado se basa en mediciones de SIR en la celda receptor y las órdenes de Control de Potencia de Transmisión (TPC) correspondientes, generados por el controlador de estación base.

El control de potencia de lazo cerrado se subdivide a su vez en dos tipos:

- Control de potencia de lazo interno (Inner Closed Loop Power Control).
- Control de potencia de lazo externo (Outer Closed Loop Power Control).

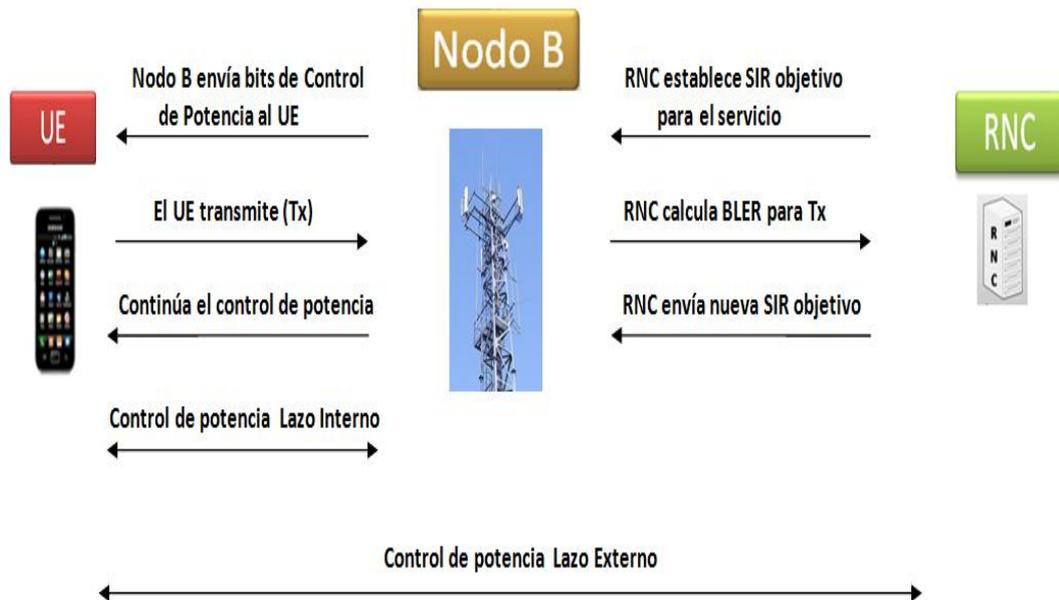


Figura 3.4 Control de Potencia de Lazo Cerrado [2].

### 3.3.2.1. Control de potencia de lazo interno

En el control de potencia de lazo interior, el transmisor de UE ajusta la potencia de transmisión de acuerdo con las órdenes de control de potencia de transmisión, transmitidos por el Nodo B para lograr la mejor Relación de Señal a Interferencia (SIR) más cercana a la SIR objetivo dado.

La red determina la variación de potencia haciendo que el transmisor cambie su potencia con un paso fijo de 1, 2 y 3 dB para

el canal ascendente (UL) y 0.5, 1, 1.5, 2 dB para el enlace descendente (DL) y después de recibir el comando de Control de Potencia de Transmisión (TPC).

El control de potencia de lazo interno es responsable de neutralizar el desvanecimiento de canal de radio y mantener cerca de la Relación de Señal a Interferencia de la transmisión de enlace ascendente a la SIR objetivo establecido por el control de potencia de lazo externo.

#### **3.3.2.1.1. Control de potencia de lazo interno en el enlace ascendente**

El equipo usuario (UE) comienza transmitiendo en el enlace ascendente un nivel de potencia a través del Canal de Control Físico Dedicado (DPCCH), el Nodo B mide la calidad de la señal recibida, es decir, SIR de transmisión de enlace ascendente y la comparara con la SIR objetivo que es calculada en el control de potencia de lazo cerrado.

Si la SIR calculada es menor que la SIR objetivo, entonces se envía el comando de Control de Potencia de Transmisión (TPC) transmitiendo un " 1 ", solicitando un aumento de potencia de transmisión para la transmisión de enlace ascendente. De lo contrario, se enviará el comando de Control de Potencia de Transmisión (TPC) " 0 ", solicitando una reducción de potencia de transmisión para la transmisión de enlace ascendente.

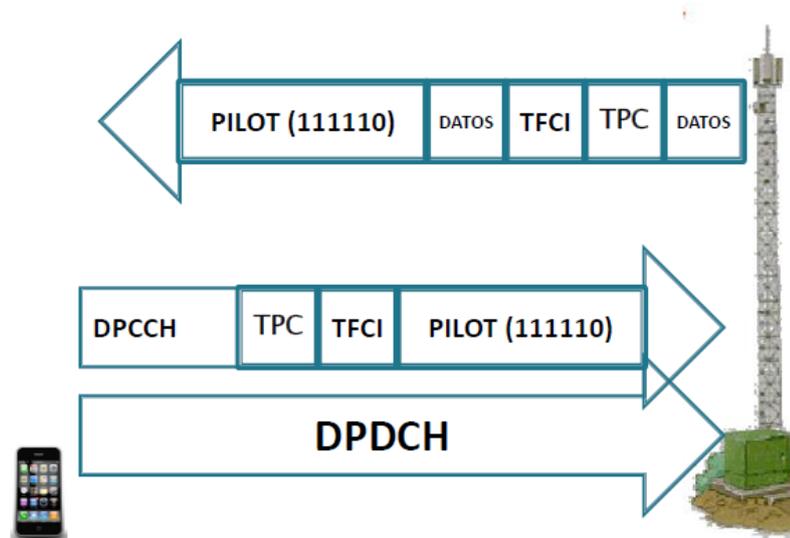


Figura 3.5 Control de potencia de lazo interno [16].

Ahora el transmisor para la transmisión de enlace ascendente toma las medidas necesarias sobre estos comandos. Siguiendo

la figura 3.6 se muestra el procedimiento de control de potencia de lazo interno.

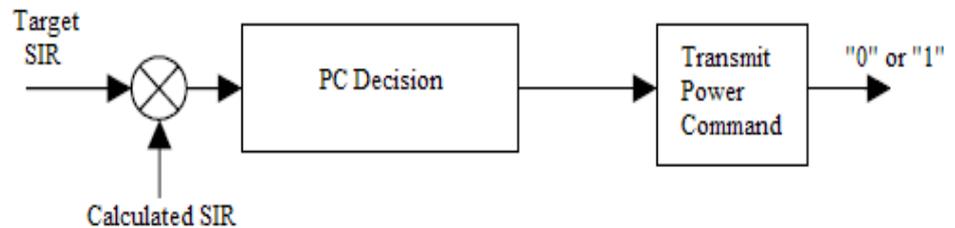


Figura 3.6 Control de Potencia de Lazo Interno [17].

### 3.3.2.1.2. Control de potencia de lazo interno en el enlace descendente

El control de potencia de lazo interno en el enlace descendente es muy similar al del enlace ascendente. Teniendo en cuenta que:

- El equipo usuario (UE) está siendo servido por una celda.
- La celda no está a través de un proceso de Handoff.

La medición de la Relación de Señal a Interferencia (SIR) calculada por el equipo usuario (UE), en los canales físicos de

enlace descendente es recibida y comparada con un valor de la SIR objetivo. Si la medición de la SIR es menor, la estación móvil manda el comando TPC "1" en el siguiente campo disponible del TPC, en respuesta, la UTRAN incrementa la potencia del Canal Físico Dedicado (DPCH) del enlace ascendente.

Si la medición de la SIR es más que el valor deseado, un comando TPC "0" es enviado en el siguiente campo TPC disponible del Canal Físico de Control Dedicado (DPCCH) del enlace ascendente, en respuesta, la UTRAN disminuye el nivel de potencia en el siguiente Canal Físico Dedicado (DPCH) en el enlace descendente.

Esta operación se realiza 1500 veces por segundo en los enlaces ascendente y descendente.

### **3.3.2.2. Control de potencia de lazo externo**

El Control de Potencia de lazo externo simplemente se hace responsable del cálculo de SIR objetivo de mantener la calidad de la comunicación con la potencia de transmisión más baja posible.

En el Control de Potencia de lazo externo se establece el valor objetivo SIR de acuerdo con la tasa de error de bloque recibido (BLER) o tasa de error (BER), con el fin de que coincida con la BLER o BER requerido. :

#### **3.3.2.2.1. Control de potencia de lazo externo de enlace ascendente**

Establece el valor SIR objetivo para cada enlace ascendente de control de potencia de lazo interno en el Nodo B. Esta SIR objetivo tiene valor diferente para cada UE, que se ajusta al Nodo B, de acuerdo a su calidad de enlace ascendente para cada conexión de control de recursos de radio.

En el enlace ascendente el Nodo B envía los bits Chequeo de Redundancia Cíclica (CRC) al RNC. El RNC, a través de los CRC establece tasa de error en la señal recibida, basándose en la relación de error de bloque (BLER). Luego compara dicho BLER con un BLER objetivo que está asociada con el flujo de datos donde se estima la calidad de servicio requerida. Si el BLER medido es mayor que el BLER objetivo, la SIR objetivo incrementa su valor. Si el BLER medido es menor que el BLER

objetivo, la SIR objetivo disminuye su valor con el fin de ahorrar energía y reducir las interferencias. Luego la RNC servidor a través Protocolos NBAP llevan SIR objetivo ajustada al Nodo B y realiza este proceso cada 10ms.

#### **3.3.2.2.2. Control de potencia de lazo exterior de enlace descendente**

Operan principalmente dentro del equipo de usuario. Este es responsable de la convergencia de la calidad del enlace que se requiere, establecido por Controlador de Red de Radio (RNC) en el enlace descendente.

Así que la responsabilidad principal de control de potencia de lazo exterior es mantener la calidad de la comunicación de enlace ascendente.

En el enlace descendente, el equipo usuario (UE) envía al RNC Servidor el valor del BLER medido en cada Canal Físico de Control Común (CPCH) a través del Controlador de Recursos de Radio (RRC), el RNC envía el BLER objetivo al equipo usuario (UE) y éste calcula el valor de la SIR objetivo.

### **3.4. Control de Handoff**

Se denomina Traspaso o Handoff al mecanismo que transfiere una llamada activa de una celda a una celda vecina con el movimiento de abonado.

Estas transferencias son muy importantes en la arquitectura celular, ya que proporciona la libertad de la movilidad dentro de los límites del sistema celular a través del Handoff, pero ésta movilidad puede causar algunos problemas tanto en la calidad de la conexión y en el nivel de interferencia durante la comunicación.

La celda en la que el UE está conectado actualmente se conoce como celda activa y la celda vecina en la que el UE puede conectarse después del traspaso se conoce como celda candidata. Cada transferencia requiere recursos de la red de la celda candidata, con el fin de transferir la llamada en curso con la calidad de requisitos de servicio.

En UMTS, el Controlador de Red de Radio (RNC) es el principal responsable del control de Handoff y los principales objetivos de dicho control son:

- Garantizar la estabilidad de la llamada en curso con la calidad de servicio requerida.
- Garantizar la estabilidad del servicio.
- Reducir al mínimo el nivel de interferencia de todo el sistema inalámbrico.
- Equilibrar la carga en el sistema inalámbrico.

El Control de Handoff en UMTS se puede dividir en los cuatro tipos de transferencias: Intra System Handoff, Inter System Handoff, Hard Handoff, Soft Handoff [6].

#### **3.4.1. Intra System Handoff**

Transferencias Intra-sistema, se producen dentro del sistema UMTS. Hay dos subtipos de transferencias dentro del sistema:

1. **Intra Frequency Handoff:** Las transferencias de Intra-frecuencia, se producen entre las celdas que tienen la misma frecuencia portadora.

2. **Inter Frequency Handoff:** Las transferencias de entre frecuencia, ocurren entre las celdas que tienen diferente frecuencia portadora.

### 3.4.2. Inter System Handoff

Las Transferencias Inter Sistema se produce entre dos sistemas diferentes de radio como por ejemplo de UMTS y GSM o UMTS y IS-95, etc.

En este tipo de Handoff el EU debe tener un equipo dual (UMTS/ GSM, UMTS/ IS-95), este traspaso es discontinuo y por ello toma más tiempo debido a que debe sincronizarse con el sistema al que está ingresando.

### 3.4.3. Hard Handoff

El Hard Handoff es un procedimiento de traspaso en el que todos los enlaces de radio anteriores de un equipo de usuario se liberan antes de que nuevos enlaces de radio se establezcan.

El Hard Handoff implica una reasignación de canales radio mediante conmutación, con un cambio de banda de frecuencia o un cambio de sector en la misma celda.

#### **3.4.4. Soft Handoff**

El Soft Handoff o traspaso continuo es un procedimiento de traspaso en el que un UE está conectado y controlado por más de una celda al mismo tiempo es decir, que durante una llamada las celdas adyacentes pueden estar dando servicio con la misma frecuencia, pudiéndose establecer una nueva conexión con una celda adyacente antes de liberar la conexión antigua.

Si las celdas que participan pertenecen al mismo Nodo B entonces este tipo de Soft Handoff es un caso especial de la transferencia suave y conocido como Softer Handoff o traspaso más continuo.

El Soft Handoff y el Softer Handoff son procedimientos de traspasos únicamente proporcionados por los sistemas CDMA, porque éstos sólo son posibles dentro de la misma frecuencia portadora.

#### **3.4.4.1. Control de potencia en el Soft Handoff**

En los Soft Handovers se consumen más recursos, puesto que existen varias conexiones activas para un único equipo usuario (UE). Por lo que será necesario definir un mecanismo que sirva para determinar cuál Nodo B el equipo usuario estará conectado.

La selección de la celda por parte de un equipo usuario (UE) se realiza de acuerdo a un cierto criterio de medición de la calidad en la señal del Canal Piloto Común (CPICH). En concreto se evalúa el valor de la señal interferencia (SIR) para todas las celdas de modo que cuando el correlator del equipo usuario encuentra el mejor pico, decide conectarse con esa estación base.

Una señal del Canal Piloto Común (CPICH) de bajo nivel de potencia será rechazada, mientras que una señal del Canal Piloto Común (CPICH) de un nivel de potencia más alto se aceptara, que incluso podría forzar la eliminación de una conexión anterior de menor nivel de señal.

### **3.4.5. Procedimiento de Handoff**

El Procedimiento de Handoff se puede dividir en tres fases que son:

1. Medición
2. Decisión
3. Ejecución

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo del procedimiento de Handoff donde se puede observar dichas fases.

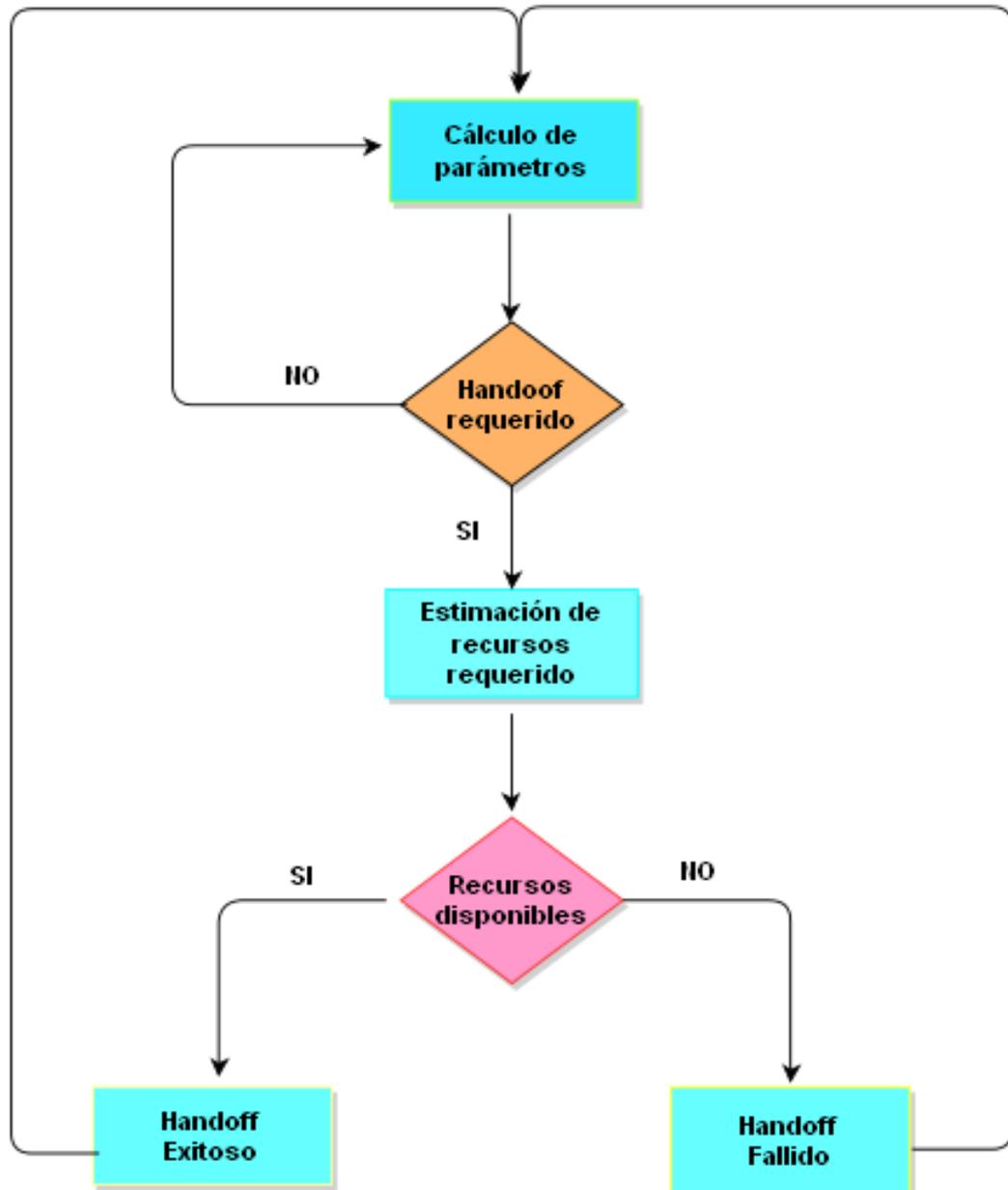


Figura 3.7 Procedimiento de Handoff [3].

### 3.4.5.1. Fase de Medición

En esta fase se mide la información necesaria requerida para hacer una decisión de traspaso o Handoff. Se mide el enlace de comunicación o la calidad del mismo, siendo medidas tanto por Nodos B, como por el UE o por ambos.

Otras mediciones como la medición es intra-frecuencia, mediciones inter-frecuencias, las mediciones de volumen de tráfico, mediciones de calidad y medidas de posicionamiento del UE se llevan a cabo en la red inalámbrica [18].

La fase de medición de Handoff se puede dividir en tres etapas descritas de la siguiente manera [6]:

1. **Celdas Vecinas:** En RNC, un conjunto de celdas vecinas se define para cada conjunto en la base de datos de configuración de red de radio.

Hay tres tipos de listas de vecinos definidos en UMTS que dependen de la frecuencia de la portadora y el sistema al que pertenece esa celda vecina. Estas listas son:

- Lista de celdas vecinas Intra-Frecuencias.
- Lista de celdas vecinas Inter-Frecuencias.
- Lista de celdas vecinas Inter-sistemas.

2. **Criterios de Medición de la Información:** Los Criterios de Medición de Traspaso dependen de los diferentes tipos de procedimientos de Handoff ofrecidos por UMTS.

Los tipos de medición de Handoff son controlados independientemente y se definen en la celda por celda base, excepto mediciones internas de la UE que están controladas por parámetros comunes a todas las celdas bajo el mismo RNC.

Un UE tiene que ejecutar y reportar las siguientes medidas de traspaso a petición del RNC:

- Mediciones de Intra frecuencia.
- Mediciones de Inter frecuencia.
- Mediciones de Inter Sistema.
- Medidas internas UE.

**3. Notificación de los resultados de medición:** Las notificaciones de mediciones de Handoff dependen de los criterios de las mediciones. Por ejemplo la notificación de Mediciones de Intra frecuencia puede ser evento desencadenado o periódico mientras que para notificaciones de Inter Frecuencia y para medición de Inter Sistema siempre es periódica.

#### **3.4.5.2. Fase Decisión**

En esta fase se decide si un Handoff es necesario o no, sin importar la disponibilidad de un canal o del Nodo B en servicio. Se toma una decisión basados en la fase de mediciones. Las mediciones se comparan con los valores de destino predefinidos y se toma una decisión sobre el resultado de este análisis. Estos valores objetivos son diferentes para los diferentes sistemas y tecnologías.

Si se determina que es necesario el Handoff se asigna un nuevo canal dependiendo de los recursos disponibles y de la disposición de la red.

### **3.4.5.3. Fase de Ejecución**

Esta es la fase final en el procedimiento de Handoff, fase donde el procedimiento se completa es decir, que ya asignado un nuevo canal, el Handoff se ejecuta.

## **3.5. Control de la congestión**

El control de congestión es importante para mantener la carga de interfaz de radio bajo umbrales predefinidos y así garantizar la disponibilidad de los recursos necesarios para una llamada. Las sobrecargas causan problemas en términos de menor capacidad, degradación de la calidad del servicio o la falta de disponibilidad de los servicios en el área de cobertura prevista, simplemente causan la inestabilidad de la red. La RNC es la encargada de hacer que el sistema vuelva a estar estable.

Debido a la movilidad de los usuarios se puede provocar situaciones de congestión ya que aumenta el tráfico que es producido por el Soft-Handoff o por excesivo tráfico de señalización en la red.

El control de congestión se subdivide en tres funciones:

1. Call Admission (Control de Admisión de Llamada).
2. Load Control (Control de Carga).
3. Packet Scheduling Control (Control de Paquete de Programación).

### **3.5.1. Call Admission Control**

El Control de Admisión de Llamadas (CAC) tiene la función de regular y financiar la nueva petición de llamada o llamada ya en marcha. El CAC también garantiza la calidad de servicio para las llamadas en términos de recursos de radio necesarios. Es decir, que en la RNC se analiza las medidas de interferencia, carga de la red y throughput para así decidir si admitirá o no nuevas conexiones, siempre garantizando QoS, por tanto, si no se puede brindar el QoS solicitado, la RNC no admitirá nuevas conexiones, aun cuando existan recursos disponibles.

El objetivo principal del control de admisión es asegurar los recursos de radio libres para una nueva transferencia de llamadas con la Relación de Señal a Interferencia (SIR) y velocidad de bits requeridos. El CAC garantiza que la nueva admisión de conexión no sacrificará el área de cobertura prevista o la calidad del servicio de las conexiones existentes.

El Control de Admisión siempre se realiza cuando un UE inicia comunicación con un Nodo B ya sea a través de una nueva llamada, un traspaso de llamada o de una nueva solicitud de servicio hecha por un UE.

El control de admisión toma la decisión de aceptación o rechazo de una llamada nueva o la modificación de una llamada en curso. Cada vez que un UE quiere establecer una conexión con el Nodo B, se envía la solicitud de asignación de recursos.

El control de admisión en el RNC, se ocupa de esa solicitud. Para los servicios en tiempo real (RT), si la conexión provoca una interferencia excesiva en el sistema, se negará la solicitud, de lo contrario, los recursos se destinarán para esa conexión. Por solicitud de conexión de tiempo no real (NRT), la programación

óptima de los paquetes debe ser determinada después de la admisión de la llamada [6].

Los algoritmos de control de admisión estiman la carga en la red, causada por la aceptación o modificación de las conexiones. Las estimaciones se realizan por separado, para el enlace ascendente y el enlace descendente. La decisión de aceptación o modificación se realiza sobre la base estimada tanto de enlace ascendente y de enlace descendente. La aceptación de una nueva llamada o traspaso de llamada o la modificación de una llamada en curso es aceptada si y sólo si la solicitud cumple con los criterios para los enlaces ascendente y descendente.

Hay dos estrategias principales para el control de admisión de llamadas:

1. Potencia de banda ancha basada en el Control de admisión.
2. Throughput basado en el Control de admisión.

### 3.5.1.1. Potencia de Banda Ancha en el Control de Admisión

Decisión de admisión para el enlace ascendente y el enlace descendente se toman de manera diferente, es así que para el enlace ascendente, la decisión se basa en los umbrales de carga específicos de las celdas, estos valores umbrales se definen durante la planificación de la red de radio. Para las conexiones en tiempo real, hay dos condiciones. Se aceptan conexiones RT si la carga de enlace ascendente no controlables ( $P_{Rx}NC$ ) cumple la siguiente condición:

$$P_{Rx}NC + \Delta I \leq P_{Rx}Trg \quad (3.2)$$

Y la potencia total de interferencia de banda ancha recibida ( $P_{Rx}Total$ ) cumple la siguiente condición:

$$P_{Rx}Total \leq P_{Rx}Trg + P_{Rx}Offset \quad (3.3)$$

Donde:

$P_{Rx}Trg$  es el valor umbral y  $P_{Rx}Offset$  es un desplazamiento definido en el momento de la planificación. El  $P_{Rx}NC$  consiste en la potencia en tiempo real de los usuarios, el ruido y otros usuarios de

celulares.  $\Delta I$  es el aumento de la potencia de interferencia de banda ancha causada por esa conexión después de la admisión. Para conexiones en tiempo no real, sólo hay una condición definida en la ecuación (3.3).

Para el enlace descendente, los criterios de admisión son similares que el enlace ascendente. Para las conexiones en tiempo real, hay dos condiciones. Se aceptan conexiones RT si la carga de enlace descendente no controlable ( $P_{Tx}NC$ ) cumple la siguiente condición:

$$P_{Tx}NC + \Delta P \leq P_{Tx}Tr \quad (3.4)$$

Y el total de transmisión de potencia de banda ancha ( $P_{Tx} Total$ ) cumple la siguiente condición:

$$P_{Tx}Total \leq P_{Tx}Trg + P_{Tx}Offset \quad (3.5)$$

Dónde  $P_{Tx}Trg$  es el valor umbral y  $P_{Tx}Offset$  es un desplazamiento definido en el momento de la planificación. El  $P_{Tx}NC$  consiste en la potencia en tiempo real de los usuarios, el ruido y otros usuarios de celulares.  $\Delta P$  se basa en la potencia de

transmisión inicial. Para conexiones en tiempo no real, sólo hay una condición definida en la ecuación (3.5).

### 3.5.1.2. Throughput

En este método, una nueva conexión es permitida si después de la admisión, la carga total es menor que el umbral. Este umbral se define en el momento de la planificación de la red de radio. Si  $\Delta L$  es la carga causada por la nueva conexión, a continuación, entonces para el enlace ascendente tenemos que:

$$\eta_{old}^{UL} + \Delta L \leq \eta_{threshold}^{UL} \quad (3.6)$$

Y para el enlace descendente:

$$\eta_{old}^{DL} + \Delta L \leq \eta_{threshold}^{DL} \quad (3.7)$$

Donde  $\eta_{old}^{UL}$  y  $\eta_{old}^{DL}$  son la carga de la red antes de que la nueva petición y  $\eta_{threshold}^{UL}$  y  $\eta_{threshold}^{DL}$  son los valores umbrales para el enlace ascendente y enlace descendente de carga definida en el momento de la planificación de la red.

### 3.5.2. Load Control

El Control de carga mantiene los recursos de radio de la red dentro de los límites establecidos de la calidad del servicio. Su objetivo principal es el de asegurarse de que la red no esté sobrecargada y de mantenerla estable. Si la red se sobrecarga, el Control de Carga toma algunas medidas destinadas a disminuir rápidamente la carga a los límites, para así disminuir la interferencia y mantener la calidad de servicio y cobertura planificada.

Control de carga es funcional tanto en el Nodo B y como en el RNC. Las principales acciones de control de carga para evitar la congestión en el Nodo B son:

- Administrar el Control de Potencia de Transmisión (TPC) hasta los comandos sobrescribiéndolos por dirección de enlace ascendente o negar el encendido de los comandos de dirección de enlace descendente.
- Usar una SIR objetivo más baja para el control de potencia de lazo interno para reducir la interferencia de enlace ascendente.

Del mismo modo las acciones de Control de Carga básicas en la RNC son:

- Interactuar con el Packet Scheduler (planificador de paquetes) y desacelerar el tráfico de paquetes de datos.
- Degradar el tiempo real de los usuarios, en términos de velocidad de bits.
- Dejar caer las llamadas mediante el uso de la estrategia decaída, definida durante la planificación.
- Administrarla intra-frecuencia o inter-sistema de transferencias para evitar la interferencia en términos de carga.

El control de carga se puede dividir en dos subfunciones:

- Control de carga preventivo.
- Control de sobrecarga.

### **3.5.2.1. Control de Carga Preventivo**

En el control de carga preventiva, los algoritmos de control de carga inspeccionan continuamente la carga de la red en términos de recursos de interferencia de radio y para evitar que la red se sobre cargue y mantener la estabilidad de la red de radio. Para lograr este objetivo, de control de carga está funcionando junto con las otras dos funciones de control de congestión.

### **3.5.2.2. Control de sobrecarga**

El control de sobrecarga es el responsable de la recuperación rápida y eficiente de la congestión de la red de radio a nivel de carga deseado.

Aunque las redes estén trabajando muy bien, debido a los algoritmos adecuados de control de carga preventivos y a los algoritmos eficientes de control de admisión, la congestión ocurre algunas veces debido a la movilidad de los usuarios, produciendo sobre carga repentina, o algunas degradaciones del canal. Degradación de conexión, llamada dropping o relevo de llamada a

otra frecuencia portadora o sistema, son las acción es comunes de control de la sobrecarga.

### **3.5.3. Packet Scheduling Control**

El Packet Scheduling Control o Control de Programación de Paquetes se realiza en la RNC con la funcionalidad de controlar el acceso de paquetes.

El Control de Packet Scheduling proporciona recursos de radio apropiadas para data calls. Los Algoritmos de Control de Packet Scheduling funcionan con Control de Admisión de Llamadas y Algoritmos de Control de Carga, con el fin de evitar que la red de radio se congestione y el de mantener la QoS.

Como UMTS garantiza la disponibilidad de los recursos necesarios para los servicios en tiempo real, se tiene que ajustar el tiempo no real (NRT) en el resto de los recursos, porque no podemos perturbar el tráfico en tiempo real para el tráfico NRT.

El control de Packet Scheduling se ocupa principalmente del tráfico NRT. Los principales objetivos del control de programación de paquetes son:

- Encontrar y dividir los recursos de radio accesibles para conexiones NRT.
- Monitorear de las asignaciones NRT.
- Monitorear de la carga del sistema.
- Ejecutar las acciones de Control de Carga para las conexiones NRT cuando sean requeridas.

Hay dos partes principales en el Control de Packet Scheduling [2]:

1. Usuario específico.
2. Canal específico.

#### **3.5.3.1. Usuario específico**

Usuario específico es el principal responsable de la utilización del Control de Recursos de Radio (RRC) establece, canales de

transporte y sus velocidades de bits de acuerdo con el volumen de tráfico.

Como se mencionó anteriormente, el Control de Packet Scheduling se realiza en la RNC de la red UMTS. El Nodo B proporciona las mediciones de carga de la interfaz de aire y el UE proporciona mediciones de volumen de tráfico de enlace ascendente al RNC, tal como se muestra en la figura 3.8 siguiente.

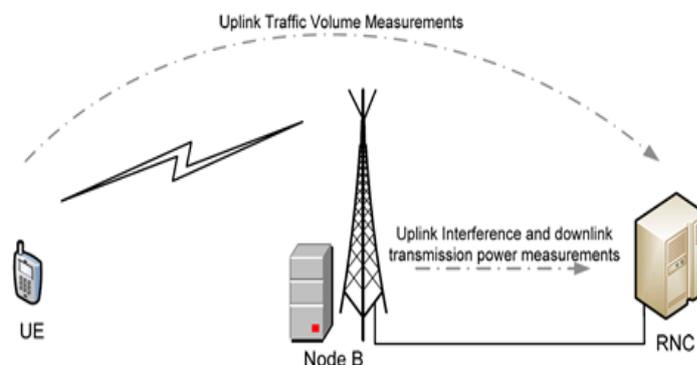


Figura 3.8 Mediciones para el Packet Scheduling [10].

### 3.5.3.2. Celda específica

La Celda específica es responsable de la compartición de recursos de radio entre usuarios simultáneos. Ésta divide la capacidad NRT

entre usuarios. La Celda específica opera periódicamente y por lo tanto, tiene rangos desde 100 ms a 1 segundo [3].

Cuando la red se sobrecarga, el Packet Scheduling reduce la carga mediante la degradación de los diversos usuarios NRT en términos de tasa de bits. Este proceso de degradación continúa hasta que la red se estabiliza. Por otro lado, cuando la carga es menor que el objetivo, el Packet Scheduling aumenta la carga mediante la asignación de las altas tasas de bits.

Por lo tanto, el objetivo principal de celda específica es utilizar toda la capacidad restante para los servicios NRT y también gestionar el nivel de interferencia global para que los usuarios RT no sean perturbados como se muestra en la figura 3.9.

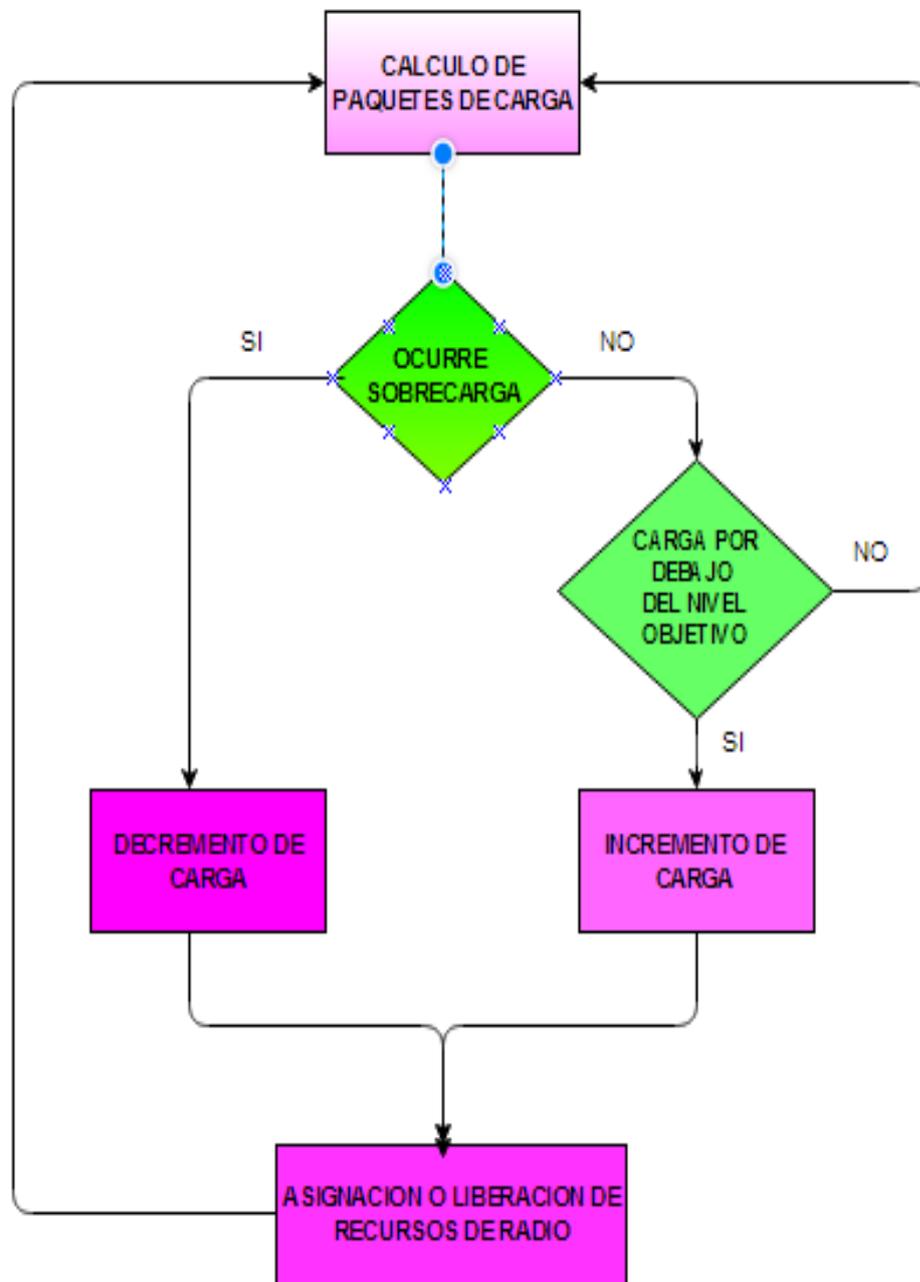


Figura 3.9 Diagrama de flujo de la funcionalidad básica del Packet Scheduling [3].

El Packet Scheduling de celdas específicos necesitan las siguientes entradas [3]:

- Potencia total Nodo B: se puede calcular la potencia basándose en la carga estimada.
- Capacidad asignada al portador NRT: se calcula basándose en la estimación de caudal.
- Nivel de carga objetivo a partir de parámetros de planificación de red: es el nivel de interferencia máximo tolerado en la celda sin efectuarla conexión RT.
- Las solicitudes de actualización de la tasa de bits del paquete planificador específica del usuario.

La información de entrada y de los principios de cálculo de celda específicas se ilustra en la figura 3.10, como se muestra en la figura, el Nodo B proporciona mediciones de potencia de enlace y la energía total de las celdas en los recursos de radio para informar a la RNC.

El Packet Scheduling puede estimar el consumo total de las conexiones en tiempo real y la interferencia entre celdas y divide la capacidad restante entre los usuarios simultáneos.

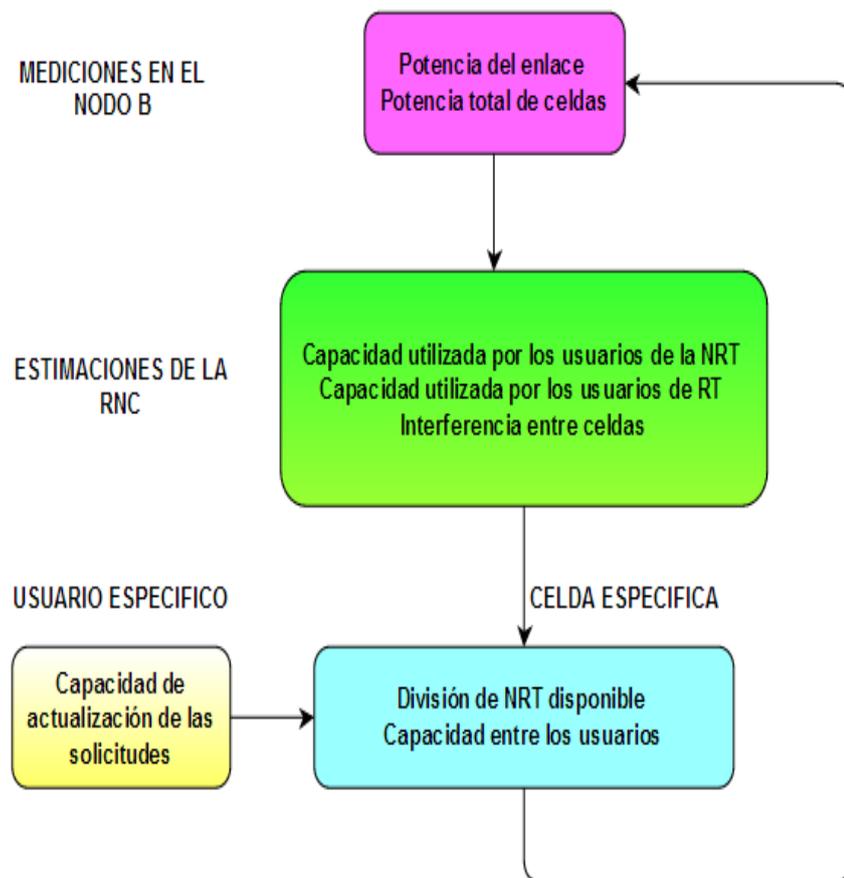


Figura 3.10 Diagrama de flujo de la información de entrada y principios de cálculo del Packet Scheduling de celda específica [3].

## **CAPÍTULO 4**

### **DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DIDÁCTICA**

#### **4.1. Introducción**

Lo audio visual es la combinación del lenguaje visual, sonoro, gráfico y textual que puede causar cambios radicales en el proceso de enseñanza, permitiendo una mejor comunicación con la persona receptora, de la información que se desea transmitir, puesto que quien observa las imágenes no necesita de una preparación previa, se cree que todo sujeto es competente para comprender el mensaje de una imagen. Las imágenes permiten de manera eventual, captar más de lo que es posible retener por medio de la voz.

“Toda enseñanza es, indiscutiblemente, audiovisual: cuando se habla, se escribe o se dibuja en el pizarrón, cada vez que se incita a los alumnos a mirar, escuchar, observar o hablar, se da una enseñanza de este tipo” **(Lefranc, Robert. 1980)**.

Es por ello que en este trabajo, hemos creado un video meramente explicativo sobre el CONTROL DE POTENCIA EN SISTEMAS UMTS, puesto que, como estudiantes de la carrera en Ingeniería en Telecomunicaciones conocemos la dificultad que muchas veces implica entender los procesos de cómo se gestiona una red en Sistemas de Telecomunicaciones.

El presente trabajo será un aporte al conocimiento educativo, donde se podrá introducir al estudiante de una manera más didáctica, básica y sencilla a los procesos que se llevan a cabo en los terminales móviles y estaciones bases (Nodos B) que utilizan el sistema UMTS.

Para la realización de este video se diseñó un entorno 3D con animaciones que se prestan para la apreciación de los procesos que se gestionan en UMTS para el CONTROL DE POTENCIA.

## **4.2. Descripción del software**

### **4.2.1. Requerimientos**

#### **4.2.1.1. Requerimientos del Hardware**

Los requerimientos mínimos necesarios en cuanto al hardware para poder realizar un video de este tipo son:

- Windows Vista, Windows 7 o Windows 8 (solo 64-bit) con procesadores Intel o AMD.
- Mac OS X 10.6.8 o superior a 64-bit Intel-Mac.
- Memoria 1 Gb.
- 7 Gb de Disco Duro.

Pero, sin embargo para un mejor funcionamiento del software es recomendable poseer:

- Intel Core Duo.
- Memoria 2 Gb o más.
- Monitor de 40" Resolución 1360x768 @60Hz (Hertzios)

- Tarjeta gráfica dedicada a 3D.

#### **4.2.1.2. Requerimientos del software**

Para la realización de la herramienta didáctica (video) se necesitó del siguiente software:

- Cinema 4D R15
- Adobe AfterEffects
- Final Cut Pro

#### **4.2.2. Aspectos Técnicos**

##### **4.2.2.1. Cinema 4D R15**

Cinema 4D R15 es un software que permite crear, modelar texturizar y animar gráficos y animaciones 3D.

Al iniciar CINEMA 4D, se podrá observar una pantalla similar a la figura 4.1. donde se distinguen varias funciones características del software.



Fig. 4.1 Funciones de Cinema 4D [19].

En este software se animaron y texturizaron todos los personajes en 3D de las escenas del video.

#### 4.2.2.2. After Effects

Adobe After Effects es una aplicación para la creación de gráficos en movimiento con efectos especiales y grafismo de video, que consiste básicamente en la superposición de imágenes. Una de

las virtudes de este programa es que, existen grandes cantidades de plugins que ayudan a aligerar las cargas de trabajo continuo y repetitivo en lo que a aplicación de efectos se refiere.

En After Effects existen tres paneles más utilizados, son:

- Proyecto
- Composición
- Línea de tiempo

El panel de proyecto sirve para importar imágenes, videos y audio, estos elementos son colocados en la línea de tiempo, donde el orden de cada capa y tiempo son ajustados según se tenga planificado y en el panel Composición se pueden observar los elementos que están en el marcador del tiempo actual.

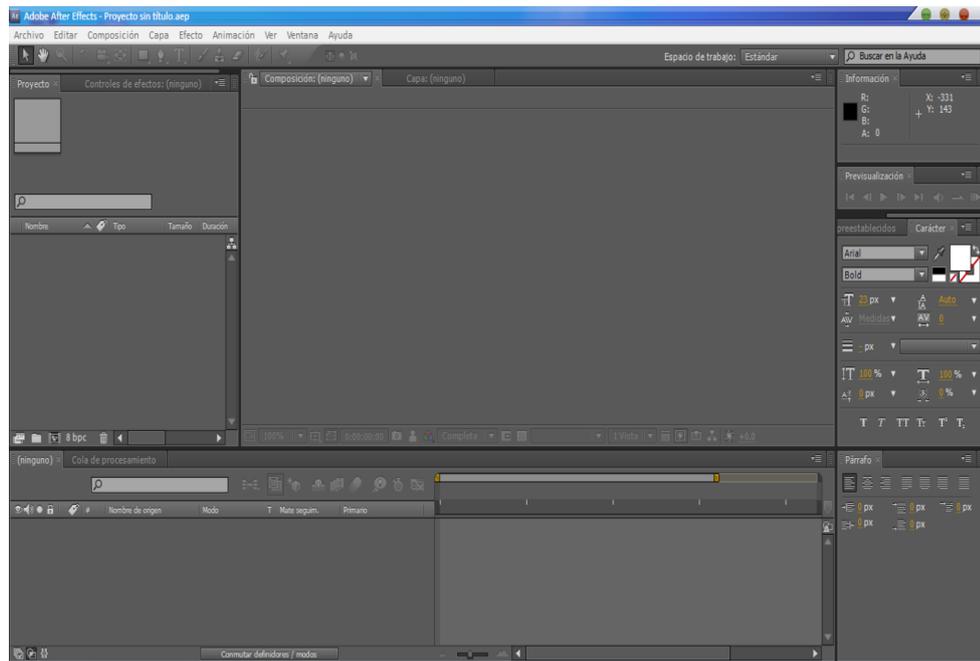


Figura 4.2 Aspecto de Adobe After Effects [20].

#### 4.2.2.3. Final Cut Pro

Final Cut Pro es un software de edición de vídeo no lineal que puede unir, dividir, editar, crear, y producir vídeos, incluir audio y música e integrar efectos de vídeo.

Consta de tres secciones principales:

- Librería de eventos.
- Visor.
- Línea de tiempo.

La Librería de eventos muestra las unidades de almacenamiento conectadas a nuestro equipo de donde se importará el material multimedia, para crear nuestro video. Con el Visor veremos una pre visualización del material importado y la visualización de nuestro video. En la línea de tiempo se puede arrastrar imágenes, vídeos y archivos de audio. En Final Cut Pro podemos aplicar efectos y ajustes.

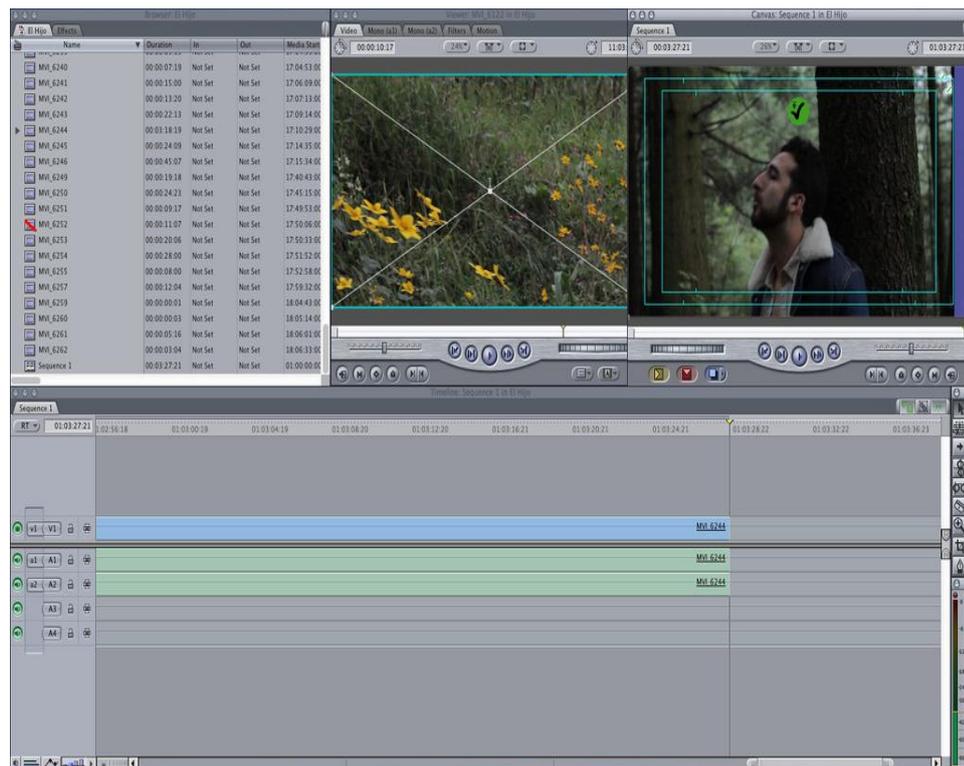


Figura 4.3 Aspecto de Final Cut Pro [21].

### 4.3. Pre – Producción

Esta es la primera fase y la más importante porque, es aquí donde surge la idea creativa del video y el guión literario del mismo.

En nuestro caso creamos primero el guión, recogiendo las partes más importantes que queríamos resaltar sobre el **CONTROL DE POTENCIA EN SISTEMAS UMTS**, puesto si el guión está bien diseñado desde el principio será más fácil realizar las grabaciones y con ello, tener mucho más claras las ideas de lo que se desea producir en video.

El video consta de 20 escenarios:

- 1 escena que explica Arquitectura de UMTS.
- 3 escenas que explican el fenómeno Cerca – Lejos.
- 3 escenas que explican el Control de Potencia de Lazo Abierto.
- 3 escenas que explican Control de Potencia de Lazo Externo
- 4 escenas que explican el Control de Potencia de Lazo Interno.

- 2 escenas que explican el Control de Potencia en el Soft Handover.
- 1 escena que explica la importancia del Control de Potencia.
- 1 escena que explica los objetivos del Control de Potencia.
- 1 escena que muestra los acrónimos.
- 1 escena que muestra a los colaboradores y productores.

Después de definido el guión, empezamos con la idea creativa de cómo queremos que se vea el video, escogiendo los elementos que van a participar en el video. Estos fueron:

- 2 personas animadas en 3D.
- 1 carro animado en 3D.
- 1 teléfono.
- 1 Nodo B o Estación Base.
- 1 RNC.
- 1 celda.
- Las ondas.
- Las flechas que indican los canales y direcciones de enlaces.
- 2 fondos de la pantalla.
- Logos de la ESPOL y FIEC.

#### 4.4. Producción

Una vez terminada la etapa de pre – producción, comenzamos por la grabación de audio de los distintos escenarios. Esta grabación fue hecha con una grabadora profesional para evitar la interferencia de ruido y poder tener un sonido más nítido.

Luego se animaron los personajes en 3D en Cinema 4D R15 para esto:

- Primero se modela el personaje, se lo texturiza.
- Luego se le añaden “huesos”
- Y para conseguir realismo en el personaje se lo ilumina.

La parte de animación es, quizás una de las cosas más difíciles al realizar el video, puesto que, dar movimiento a un personaje requiere de algo de tiempo, para poder hacer que se mueva como queramos.

Estos personajes animados fueron dos personas y un auto.

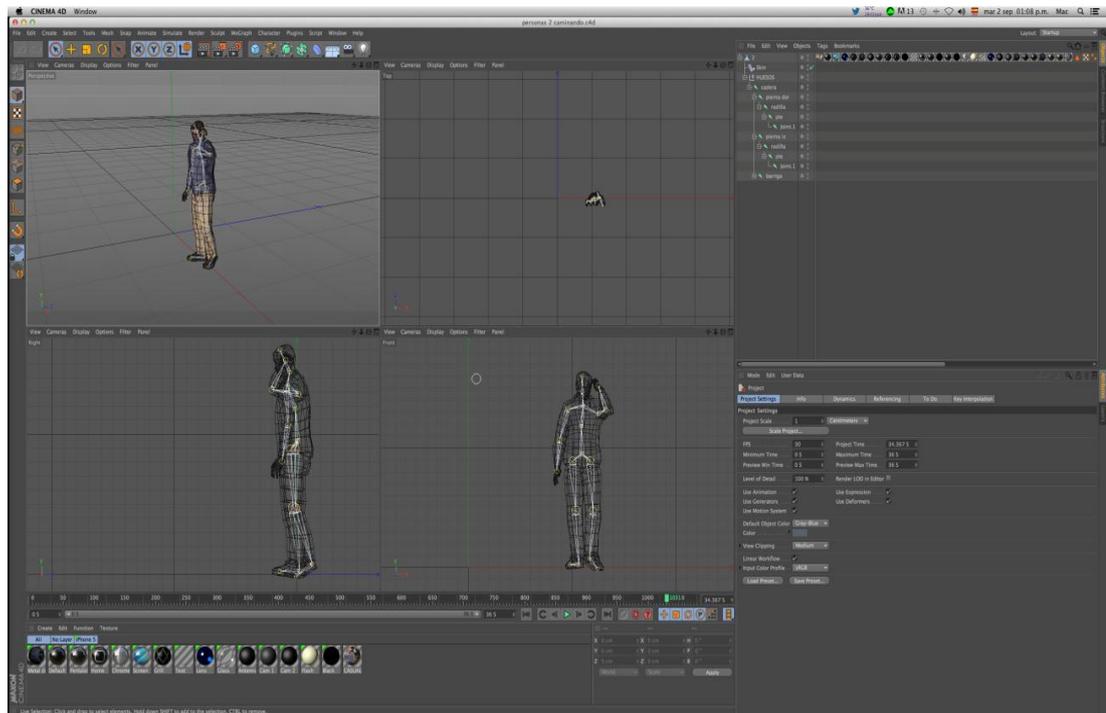


Figura 4.4 Diseño del personaje en Cinema 4D R15.

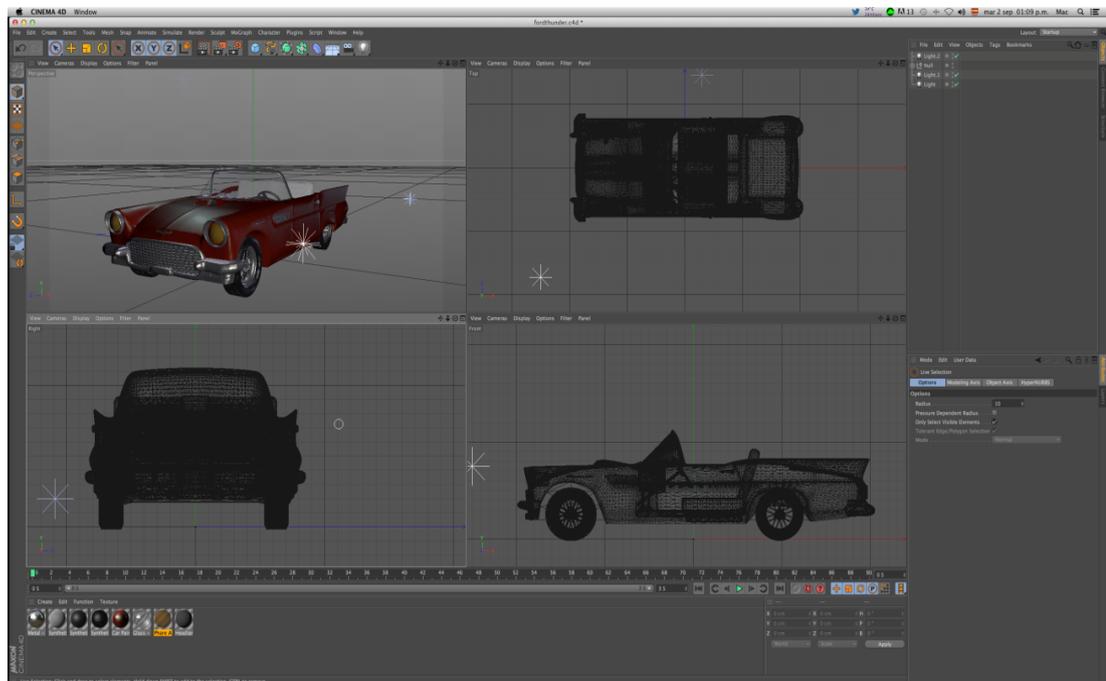


Figura 4.5 Diseño del carro en Cinema 4D R15.

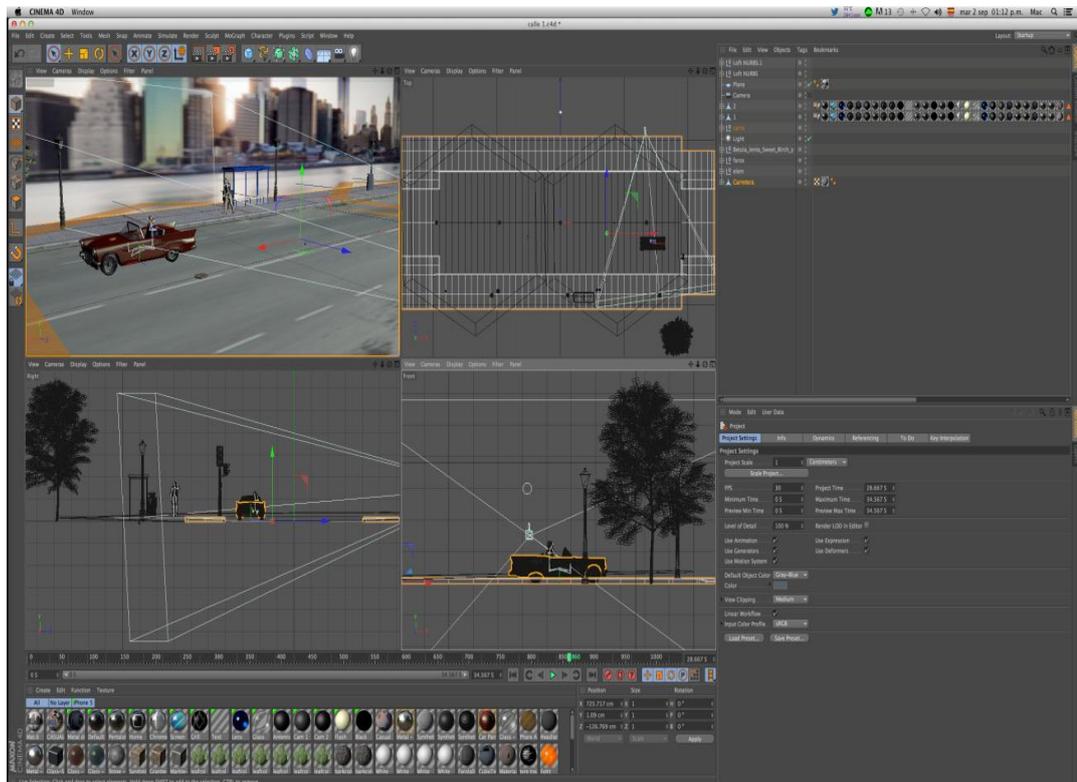


Figura 4.6 Diseño del entorno en Cinema 4D R15.

También se diseñaron el resto de elementos a utilizar en el video en Cinema 4D R15.

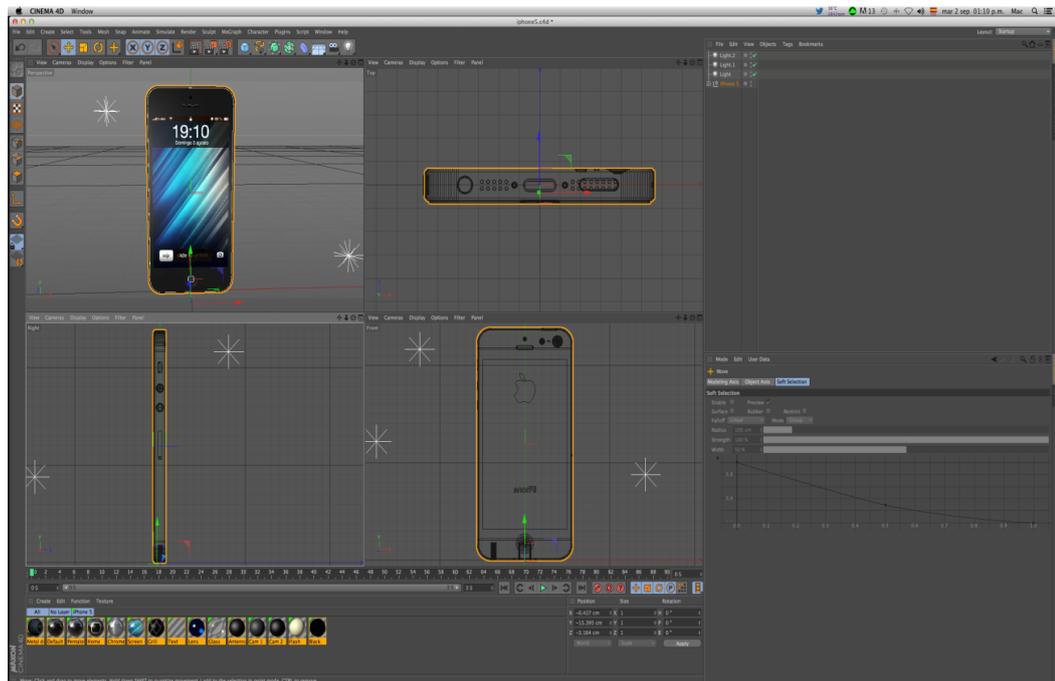


Figura 4.7 Diseño del teléfono móvil en Cinema 4D R15.

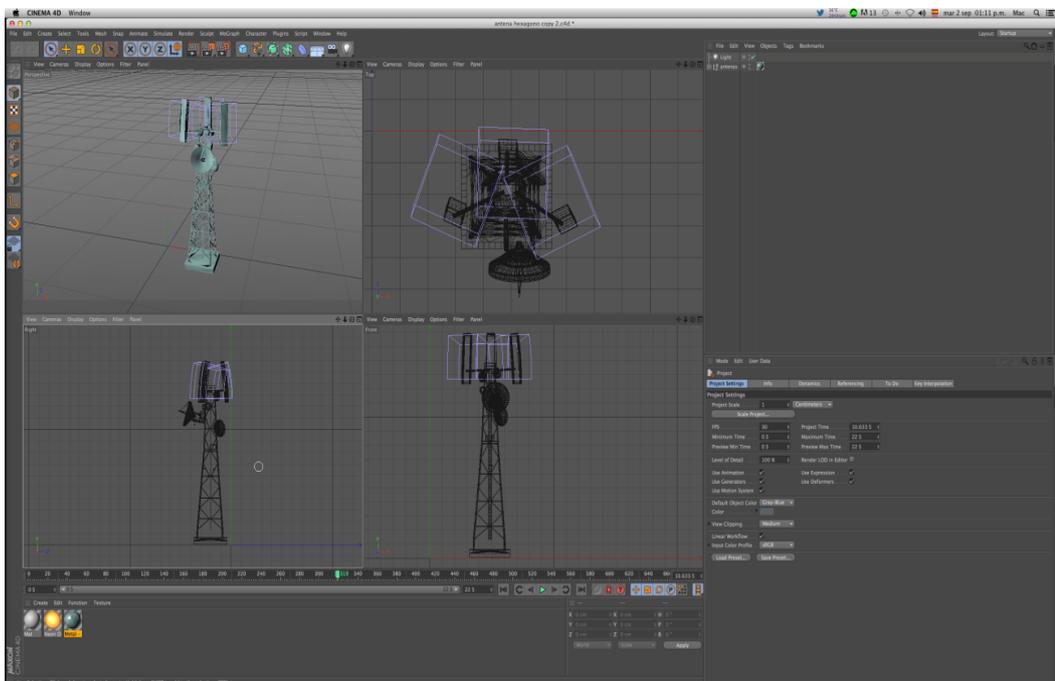


Figura 4.8 Diseño del Nodo B en Cinema 4D R15.

Una vez diseñados los elementos, se empiezan a crear los diferentes escenarios establecidos en la Pre – Producción, la representación de los gráficos en movimiento con efectos especiales se creó en el software After Effect. En este software se realizó la parte de animación de las ondas y puesta en escenas de los elementos previamente modelados en Cinema 4D R15.

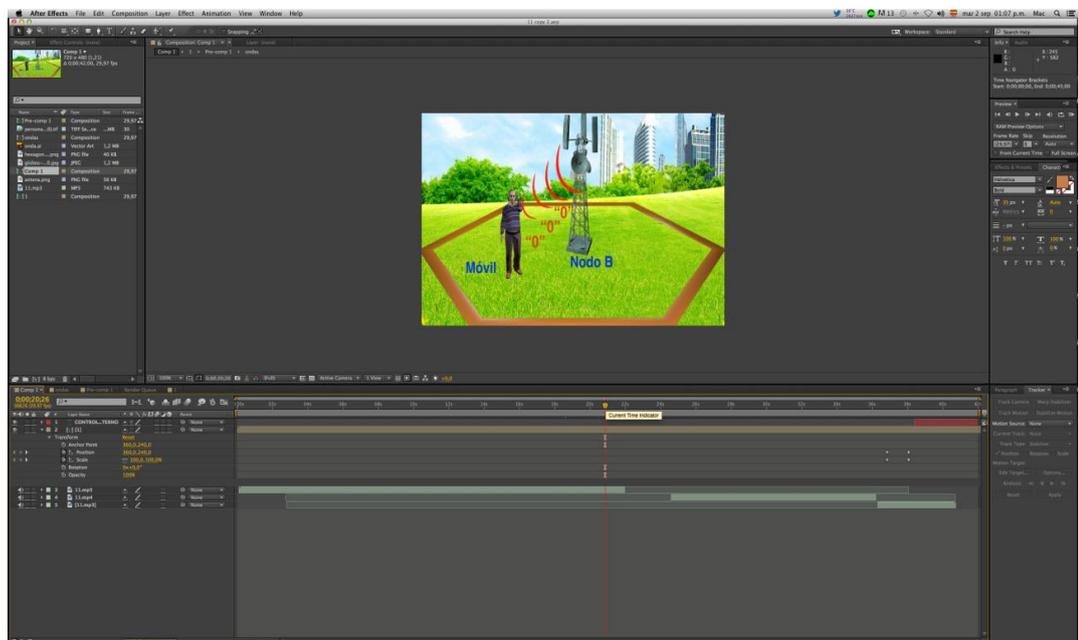


Figura 4.9 Animación de elementos en After Effects.

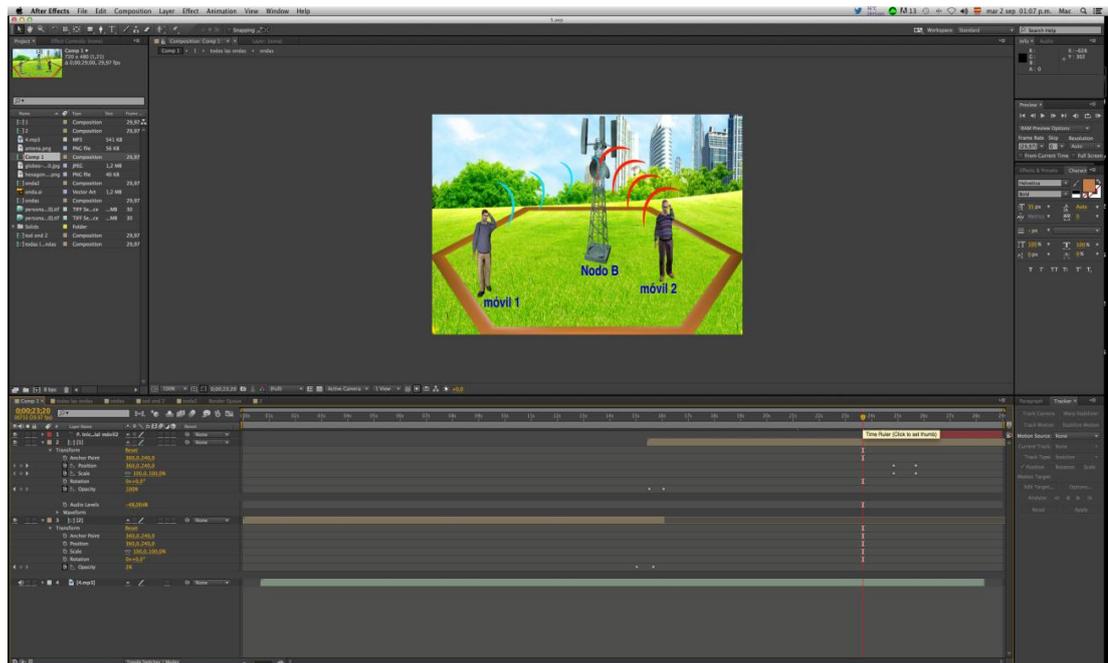


Figura 4.10 Animación combinando varios elementos en After Effects.

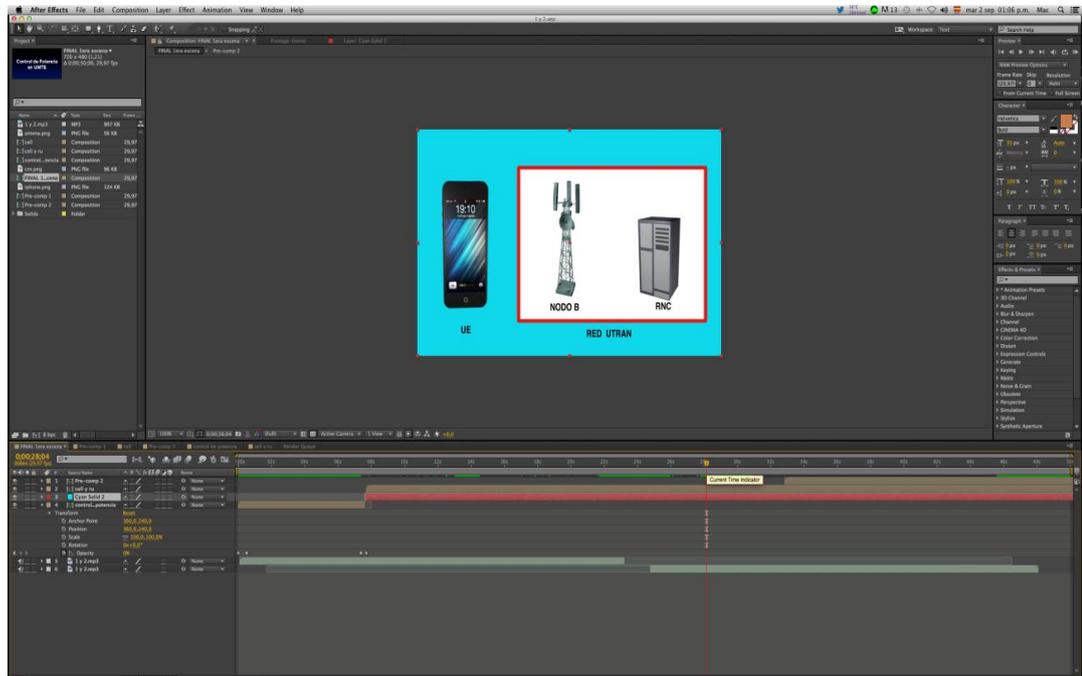


Figura 4.11 Elementos para el control de potencia en After Effects.

Se crean los renders (videos) de cada escenario planteado y una vez que tenemos todos los escenarios producidos en After Effect pasamos a la etapa de Post – Producción donde uniremos todos.

#### **4.5. Post – Producción**

En esta etapa usaremos el software Final Cut Pro para la edición final del video y la adhesión música de fondo, se exportó todos los renders (videos) de After Effects de manera ordenada para así obtener un solo video.

Aquí se suavizan los picos de sonidos altos, de las grabaciones del guión literario, para que no se note la diferencia de tonalidades al unir cada uno de los pequeños renders realizados en After Effects.

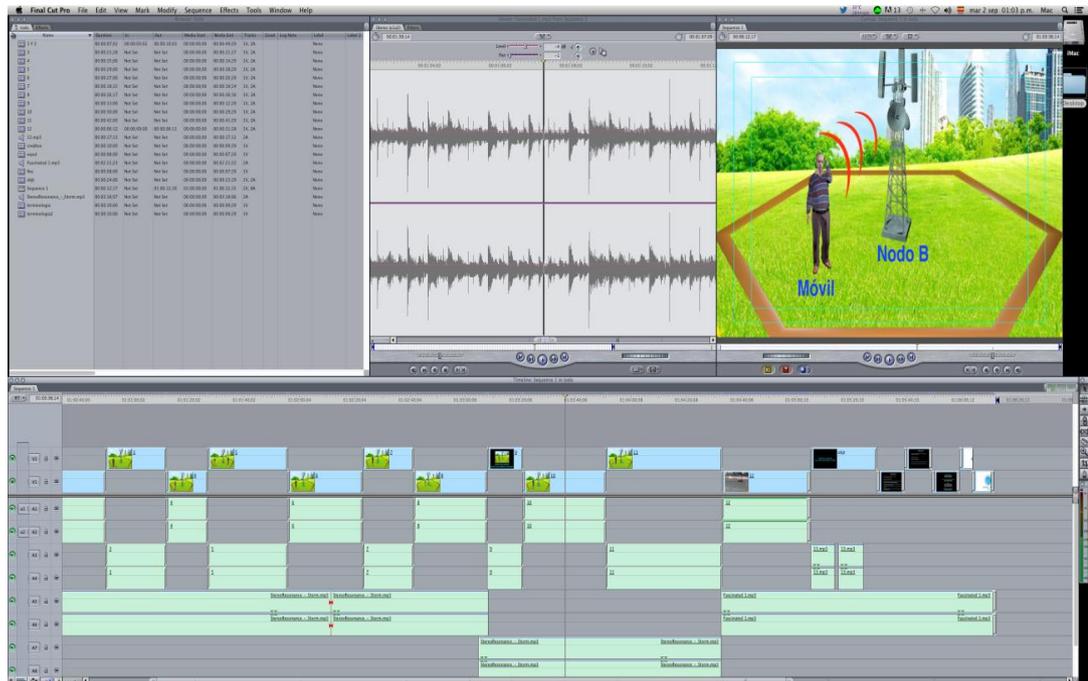


Figura 4.12 Exportación de las escenas de After Effects a Final Cut Pro.

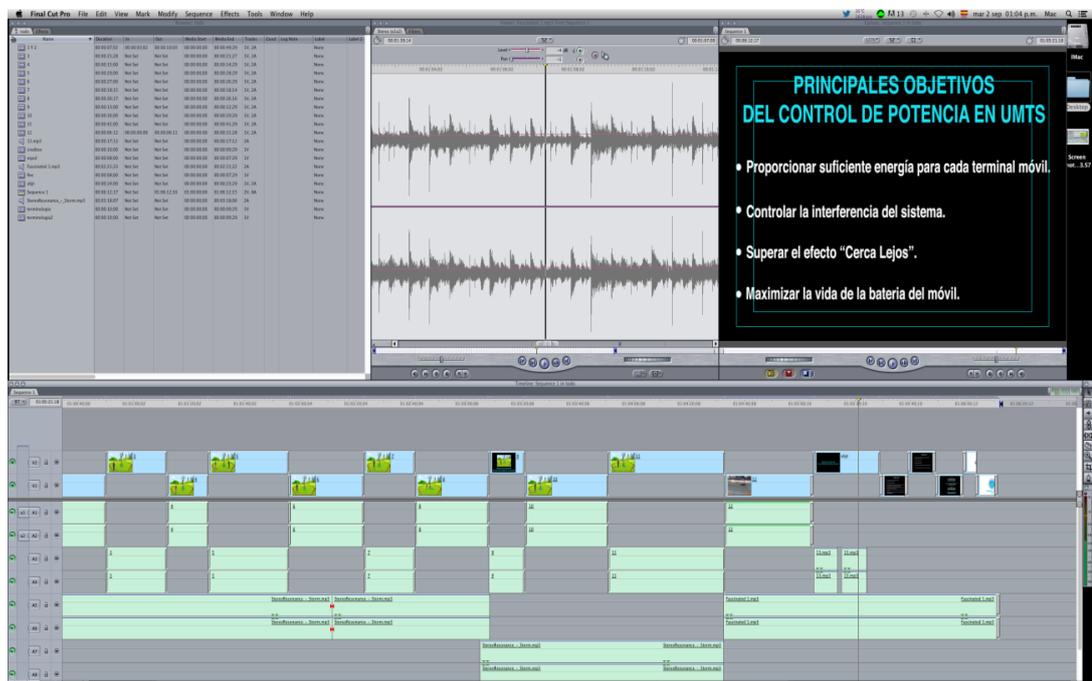


Figura 4.13 Edición en Final Cut Pro.

## **CONCLUSIONES**

1. Se estudió la arquitectura general de un sistema UMTS, con la finalidad de comprender como está formada, que elementos contiene, que función desempeña cada entidad y cómo interactúan entre sí.
2. También se estudió el estándar más representativo de UMTS que es WCDMA, dicha arquitectura está elaborada en capas de protocolos, lo cual hace que se divida el trabajo global en funciones, módulo o capas más pequeñas que permiten la administración y funcionamiento de un sistema de una manera óptima. Cada capa o módulo tiene una función específica sin considerar el desarrollo interno de otras capas, esto evita fallas del sistema a causa de sobrecarga de trabajo.

3. Uno de los elementos más importantes de WCDMA es el control de potencia, debido a las pérdidas por trayectoria en un enlace de comunicaciones, la señal proveniente de un móvil sufre una degradación, es por ello que la potencia recibida en la estación base, transmitida por un móvil cercano a ella es más fuerte que la de un móvil más alejado, a este problema se le definió como el efecto cerca lejos, por esta razón los móviles no pueden estar transmitiendo con un nivel fijo de potencia ya que las pérdidas por trayectoria provocarían que un usuario cercano a la estación base enmascare a los que están más alejados de ella, como solución a este efecto se implementa un control de potencia en el sistema, el cual fue clasificado en dos tipos, en control de potencia de lazo abierto y en control de potencia de lazo cerrado.
  
4. El control de potencia de lazo abierto fue requerido para proporcionar una potencia inicial de transmisión para el móvil, cuando este desea transmitir, pues no sabe su posición con respecto a la estación base, y se debe evitar que su nivel de potencia sea demasiado alto o demasiado bajo.

5. El control de potencia de lazo cerrado es empleado para proporcionar una buena calidad de servicio en la transmisión, manteniendo una estabilidad en el nivel de potencia durante la comunicación. El control de potencia de lazo cerrado permite que todas las señales de los móviles lleguen a la estación base con la misma potencia, comparando la SIR de los móviles contra una SIR en la estación base que se denominó "SIR objetivo". Si la SIR de un móvil es mayor que la SIR objetivo se envía un comando al móvil con la instrucción de disminuir nivel de potencia, de lo contrario se envía un comando con la instrucción aumentar nivel de potencia.
  
6. Otro elemento de WCDMA es la transferencia de llamada que es el proceso en el cual una estación móvil elige la estación base que le proporcione los mejores recursos para continuar la llamada. La más representativa es la transferencia de llamada sin interrupción (Soft Handover) esta ocurre cuando dos estaciones base sirven simultáneamente al móvil y operan con la misma frecuencia.

7. Los sistemas basados en CDMA son limitados por la interferencia generada por los usuarios que tienen llamadas activas en el sistema, dado que ellos hacen uso simultáneo de las mismas frecuencias, lo que hace necesario que se ejecuten procedimientos de control de potencia.
8. El control de potencia sirve para disminuir las interferencias ocasionadas entre usuarios, manteniendo los niveles de potencia próximos a un nivel de potencia objetivo, obteniendo así la mínima cantidad de interferencias posible. Cabe mencionar que las interferencias no pueden ser eliminadas, más sí minimizadas.
9. Para comprender de manera sencilla los algoritmos de el control de potencia en redes CDMA se desarrolló una herramienta didáctica con la finalidad de brindar un servicio Socio-Cultural a cualquier persona interesada en conocer sobre este tema, proporcionándoles información básica y fácil de comprender de cómo nuestros teléfonos móviles resuelven problemas de interferencia y ahorro de energía mediante el control de potencia en una red CDMA.

## RECOMENDACIONES

1. Es importante aplicar un procedimiento para el control de potencia, dado que esta permitirá ir desde lo general a lo específico en la comprensión de un sistema complejo, obteniendo una abstracción adecuada del mismo, para así definir claramente cuáles son los objetivos del control de potencia.
2. Para el desarrollo de la herramienta didáctica (video), se recomienda tener conocimientos sobre software tales como CINEMA 4D R15 para modelado, animación y texturización, ADOBE AFTER EFFECTS para la superposición de imágenes y FINAL CUT PRO para la edición del video.
3. Se recomienda el uso de computadoras de alta capacidad (con las características establecidas en el capítulo 4), que soporten los softwares utilizados, puesto que estos programas necesitan de una gran cantidad de memoria RAM y alta velocidad de procesamiento.
4. Se recomienda tener la idea clara y el guión literario, puesto que esto ayuda bastante a agilizar el proceso de la elaboración de cada una de las escenas establecidas.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Javier Sanchez Mamadou Thioune, "UMTS", ISTE, 2007.

[2] Harri Holma y Antti Toskala, "WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile communications", John Wiley & Sons, 2004.

[3] UMTS Networks, Architecture, Mobility and Services, Heikki Kaaranen ,Ari Ahtiainen ,Lauri Laitinen, Siama"k Naghian, Valtteri Niemi, Second Edition, 2005 , John Wiley & Sons.

[4] <http://telefonía.blog.tartanga.net/>

[5] [http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric\\_meurisse/umts.php](http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php)

[6] Jaana Laiho and Achim Wacker, "Radio Network Planning and Optimisation for UMTS" John Wiley & Sons, 2006.

[7]: 3GPP TS 25.301 V8.1.0, "Radio Interface Protocol Architecture ", 2008.

[8]: M.R. Karim y M. Sarraf, "W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks".

[9]: 3GPP TS 25.211 V8.0.0, " Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD) ", 2008.

[10]: Jonathan P. Castro, "The UMTS Network and Radio Access Technology", John Wiley & Sons, 2001.

[11] <https://www.google.com.ec/3rageneraciónWCDMA/UMTS>, presentación personal de Liliana Zepeda, Universidad de Chile.

[12] Narcis Cardona, Juan José Olmos Bonafé, Mario García Lozano, José F. Monserrat, 3GPP LTE: Hacia la 4G móvil, primera edición, Marcombo S.A. abril 2011.

[13] [http://wireless.arcada.fi/MOBWI/material/CN\\_6\\_2.html](http://wireless.arcada.fi/MOBWI/material/CN_6_2.html)

[14] [http://revistasic.com/revista43/agorarevista\\_43.htm](http://revistasic.com/revista43/agorarevista_43.htm)

[15] Pierre Lescuyer, UMTS: Origins, Architecture and the Standard, Ed., Primera Edición, Frank Bott, 2004.

[16] [www.conapptel.org.mx](http://www.conapptel.org.mx), presentación personal de Eliud González Vázquez.

[17] Loutfi Nuaymi, Xavier Lagrange, Philippe Godlewskiin, "A Power Control Algorithm for 3G WCDMA System" Proc. Of European Wireless 2002.

[18] <http://www.umtsword.com/technology/handover.htm>

[19] Manual de inicio rápido: Cinema 4D, Maxon.

[20] Uso de adobe After Effects.

[21] Manual del usuario: Final Cut Pro.