

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**REORDENAMIENTO DE FRECUENCIAS EN LA BANDA
DE 700 MHz**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

ELÍ OTTO MELGAREJO PADILLA

PROMOCIÓN

2003 – II

LIMA – PERÚ

2012

REORDENAMIENTO DE FRECUENCIAS EN LA BANDA DE 700 MHz

Mis agradecimientos a:
Dios, por la vida y guiar mi camino,
Mi Padre Eduardo y mi Madre Mavila, por el amor, educación y el
apoyo incondicional,
Mi compañera y amada Erika, por el apoyo y comprensión,
Mi querida UNI, por mi formación.

SUMARIO

El presente informe de suficiencia describe los argumentos y consecuencias del reordenamiento del espectro radioeléctrico en la banda de 700 MHz, así como su importancia en el desarrollo de las telecomunicaciones.

Este informe tiene como objetivo brindar los principales criterios y alcances para el reordenamiento de dicha banda, dado que aun no se ha implementado equipamiento de la nueva generación móvil en esta banda, sin embargo se describirá los principales parámetros de la nueva generación móvil que tienen injerencia con el uso del espectro radioeléctrico.

En vista de la nueva generación móvil a ser introducida en esta banda de frecuencias y a su gran cobertura, promoverá el desarrollo de servicios públicos de telecomunicaciones en las zonas rurales, así como disminuir la Brecha Digital, que ha sido identificada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT como el Dividendo Digital.

Entre los diversos criterios que determinan la nueva canalización de la banda de frecuencias de 700 MHz, se encuentra la economía de escala, recomendaciones internacionales, por lo que estos criterios se tomarán en cuenta, a fin de determinar la nueva canalización.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	2
1.1 Definición de espectro radioeléctrico	2
1.2 Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT	3
1.2.1 Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMRs)	3
1.3 Propuesta tecnológica para el uso de la banda de 700 MHz	6
1.3.1 IMT – Avanzadas	6
1.3.2 Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF)	9
1.3.3 Estado actual de la banda de 700 MHz en el Perú	9
1.4 Aspecto regulatorio	12
1.4.1 Agrupación de servicios	12
1.4.2 Estándares Globales	12
1.4.3 Armonización de espectro	13
1.4.4 Topes de espectro	13
1.5 Economía de escala	13
1.5.1 Introducción	13
1.5.2 Subastas realizadas en la banda de 700 MHz	14
1.6 Recomendaciones y canalizaciones para la banda de 700 MHz	15
1.6.1 Canalización de Estados Unidos de América	15
1.6.2 Propuesta de la Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT	16
1.6.3 Propuesta de las entidades privadas 3GPP y WiMAX Forum	17
1.6.4 La situación Europea	18
1.6.5 Telecomunidad Asia Pacifico – APT	19
CAPÍTULO II	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERIA DEL PROBLEMA	20
2.1 Aspectos Generales de las redes de cuarta generación	20
2.1.1 Arquitectura del Sistema Móvil	20
2.2 Parámetros técnicos que influyen en el dimensionamiento de los bloques que serán canalizados	25
2.2.1 Introducción	25

2.2.2	OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales).....	26
2.2.3	SC-FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Portadora Simple).....	27
2.2.4	Ventajas y desventajas de SC-FDMA y OFDMA.....	28
2.2.5	Canal inalámbrico con multitrayectos	29
2.2.6	Estructura de la trama del enlace de bajada para LTE y para WiMAX.....	31
2.3	Modos de Duplexación	48
2.3.1	Duplexación por división de frecuencia – FDD.....	48
2.3.2	Duplexación por división de tiempo – TDD.....	48
2.3.3	Canales de guarda y tiempo de guarda.....	49
2.3.4	Eficiencia espectral.....	50
2.4	Planteamiento de los problemas presentados en el Aspecto de Ingeniería.....	51
2.4.1	Elección de la tecnología a emplear	51
2.4.2	Ancho de los bloques de frecuencia	51
2.4.3	Tipo de duplexación	51
2.4.4	Desarrollo de equipamiento	52
2.5	Planteamiento de los problemas presentados en el Aspecto regulatorio	52
2.5.1	Apagón analógico vs banda ancha móvil en la banda de 700 MHz	52
2.5.2	Levantamiento de los toques de espectro de los operadores en Perú.....	52
CAPÍTULO III		
METODOLOGIA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA		53
3.1	Aspecto de ingeniería del problema.....	53
3.1.1	LTE o WiMAX	53
3.1.2	Anchos de los bloques de frecuencia	54
3.1.3	Tipo de duplexación	55
3.1.4	Desarrollo de terminales	56
3.2	Aspecto regulatorio.....	58
3.2.1	Apagón analógico vs banda ancha móvil en la banda de 700 MHz	58
CAPITULO IV		
ANALISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		60
4.1	Elección de la propuesta de canalización y determinación de los tipos de duplexación.....	60
4.1.1	Aspecto técnico	60
4.1.2	Aspecto Económico.....	61
4.2	Determinación de los anchos de los bloques de espectro	61
4.2.1	Modulación adaptativa.....	61
4.2.2	Calculo teórico de la velocidad de transmisión en el enlace de bajada.....	62

4.2.3 Pruebas de campo realizadas en la banda de 700 MHz.....	71
4.2.4 Ancho de los bloques propuestos para la banda de 700 MHz.....	71
CONCLUSIONES	72
ANEXO A	
GLOSARIO DE TÉRMINOS	73
ANEXO B	
FUENTE DE FIGURAS y TABLAS	76
BIBLIOGRAFÍA	83

INTRODUCCIÓN

La evolución de las redes inalámbricas se debe principalmente a la explotación del espectro radioeléctrico, un recurso natural que es limitado y por tanto debe administrarse considerando diversos aspectos, tales como: el desarrollo socio-económico y su enorme potencial para la reducción de las desigualdades económicas, regionales y sociales, la democratización de las oportunidades de acceso a la información y al conocimiento.

La banda ancha móvil ayudará al gobierno a desarrollar sus programas de modernización del Estado, ampliar el acceso a las TICs (Tecnologías de Información y Comunicación), la convergencia de los servicios, promoverá el desarrollo de servicios en las zonas rurales contribuyendo de este modo al desarrollo de la economía en su conjunto, la generación de empleo, el desarrollo de inversiones, así como el bienestar social y la disminución de la Brecha Digital.

La importancia de la nueva canalización de esta banda es fundamental, por la que ha sido llamada el Dividendo Digital, sin embargo la UIT concluyó en que era necesario identificar un monto adicional de espectro para los servicios móviles entre 1200 MHz y 1700 MHz totales hasta el año 2020.

El presente informe de suficiencia describe el estado actual de la banda de 700 MHz, los requisitos mínimos de la nueva generación móvil a ingresar en dicha banda, los criterios adoptados para el reordenamiento de dicha banda en el Perú. Debido al factor preponderante de la economía de escala se revisará las canalizaciones de dicha banda en otros países, así como las recomendaciones internacionales y de organismos especializados.

Es preciso señalar que la información contenida en el presente informe tiene como motivación realizar un trabajo netamente académico a fin de realizar la sustentación del informe de suficiencia y no pretende ser orientado a un fin político o de otra índole.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se dan a conocer las bases teóricas conceptuales más relevantes para la comprensión del reordenamiento de frecuencias en la banda de 700 MHz. Asimismo, en este capítulo se encuentran las diferentes propuestas de canalización de entidades internacionales, tales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones y la Telecomunidad Asia – Pacífico, así como , las propuestas de otros países.

Se explicará: 1) Definición de espectro radioeléctrico; 2) Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT, Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMRs), identificación de las bandas para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales – IMT Avanzadas, Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, estado actual de la banda de 700 MHz, los servicios que actualmente se brindan, tecnología utilizada, banda donde se migrará los servicios actuales; 3) Aspectos regulatorios, criterios para la asignación de espectro, agrupación de servicios, estándares globales, armonización de espectro y los Topes de espectro; 4) Aspectos económicos, economía de escala; 5) Propuestas para la canalización de la banda de 700 MHz en otros países: canalización de Estados Unidos – FCC, propuesta de la Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT, propuesta del 3GPP y el WiMAX Forum, la situación europea y recomendación de la Telecomunidad Asia Pacífico – APT.

1.1 Definición de espectro radioeléctrico

El Plan Nacional de Atribución de Frecuencias define al espectro radioeléctrico como:

El espectro radioeléctrico es un recurso natural conformado por el conjunto de ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se fijan convencionalmente desde 9 kHz hasta 300 GHz y que forma parte del patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento, correspondiendo su gestión, administración y control al Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Asimismo, el Plan Nacional para el Desarrollo de la Banda Ancha señala que: es importante considerar que todas las actividades relativas a la administración del espectro, deben considerar la evaluación de su impacto sobre la intensidad competitiva en el mercado de los servicios de telecomunicaciones, en especial en la asignación de este recurso.

1.2 Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT [1]

La UIT es la organización intergubernamental que planea, administra y controla el buen uso del espectro radioeléctrico desde el punto de vista de la coordinación internacional. Las tecnologías que han sido proyectadas para las distintas generaciones de los sistemas móviles de telecomunicaciones utilizan el espectro radioeléctrico, por consiguiente, éste debe ser identificado y atribuido a los servicios de telecomunicaciones pertinentes. Los fabricantes, prestadores de servicios y gobiernos se reúnen en la UIT en su categoría de Estados Miembros y Miembros Asociados para hacer una planeación de los usos futuros que se otorgarán a las bandas de frecuencias, así como la armonización mundial del espectro radioeléctrico.

La UIT ha dividido al mundo en tres regiones. Basándose en esa división, la Figura 1.1 consta de tres columnas, denominadas: Región 1, Región 2 y Región 3, respectivamente. Dichas regiones se refieren a distintas zonas geográficas, como se indica a continuación:

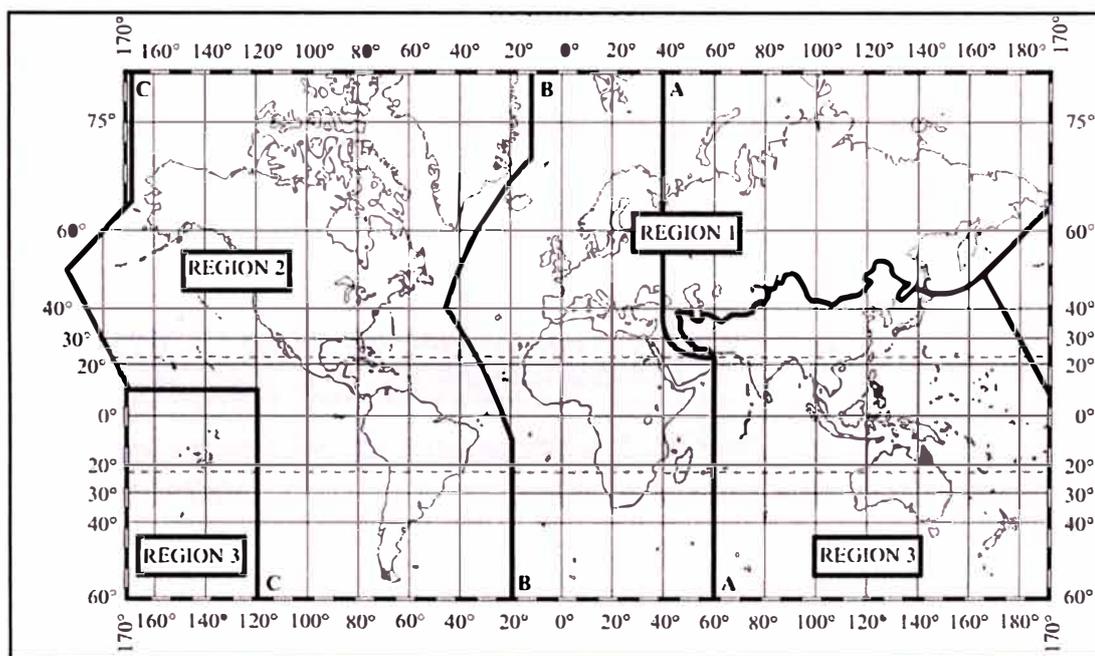


Fig. 1.1: División del mundo por regiones.

La UIT cuenta con una Oficina de Radiocomunicaciones que se encarga de todas las actividades relacionadas con el espectro radioeléctrico. Es también responsable de convocar a los países miembros y a la industria para la planeación del espectro radioeléctrico de las telecomunicaciones hacia el futuro.

1.2.1 Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMRs)

Los 192 Estados Miembros y los Miembros Asociados de la UIT, se reúnen aproximadamente cada dos años y medio durante un mes para celebrar la CMR. La conferencia anterior ya dejó establecida una agenda de los temas que se tratarían en la

siguiente conferencia. En la CMR los miembros de la UIT analizan las diferentes propuestas que los países someterán a consideración de la conferencia. Desde hace ya más de diez años los países han visto que la colaboración regional les permite elaborar propuestas más robustas para ser sometidas a la CMR, por lo que actualmente existen seis regiones operativas de la UIT. Estas regiones son América, África, Europa Occidental, Asia Pacífico y Oceanía, Países Árabes y Europa del Este y Rusia, los cuales se congregan mediante un órgano internacional que los convoca en sus respectivas regiones.

La integración de propuestas comunes se realiza entre CMRs y, por lo general, se consideran los intereses regionales. Los países buscan favorecer ante todo tecnologías que satisfagan sus necesidades nacionales de comunicación. Promueven aquellas tecnologías que faciliten la armonización del uso de frecuencias en la región y, en consecuencia, se logren economías de escala. Además prevén que las propuestas consideren el uso eficiente que se dará al espectro radioeléctrico en los próximos años. Por lo tanto, es más factible que los países se inclinen por apoyar las tecnologías que garantizan la eficiencia espectral en las diferentes bandas de frecuencias. Esta integración regional ha facilitado el trabajo de planeación y administración del espectro radioeléctrico internacional.

En la Tabla 1.1 se clasifican aquellas bandas identificadas y cuya cobertura obedece a la división de regiones que establece el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Tabla 1.1: Bandas identificadas para IMT-2000 e IMT-2000 avanzado.

Conferencia	Banda etiquetada	Cobertura
CMR-1992	1885-2025 MHz	Global
	2100-2200 MHz	
CMR-2000	806-960 MHz	Global
	1710-2025 MHz	Global
	2110-2200 MHz	Global
	2500-2690 MHz	Global
CMR-2007	450-470 MHz	Global
	698/790-806 MHz	Región 2 y 9 y países de las Regiones 1 y 3
	3400- 3600 MHz	La mayoría de los países

Mediante las CMRs, la UIT busca la armonización de las bandas de frecuencias sobre una base global de acuerdos. Estos acuerdos dan certidumbre a los fabricantes para trabajar en la elaboración de estándares que garanticen el cumplimiento de parámetros mínimos de operación de las tecnologías y que se puedan satisfacer las necesidades de comunicación que la sociedad demanda. En la realidad, el Reglamento de

Radiocomunicaciones, que es el resultado de los acuerdos alcanzados en cada CMR, no obliga a que todos los países adopten de manera simultánea las tecnologías que fueron seleccionadas para determinadas bandas. Simplemente constituye un marco legal de referencia mediante el cual los países pueden definir sus políticas públicas de utilización del espectro en el corto, mediano y largo plazos.

Además, dicho reglamento ofrece gran flexibilidad puesto que, según las necesidades de cada país, éstos pueden tomar decisiones diferentes en cuanto a la atribución final que le den a sus bandas y la asignación que hagan de las mismas en el momento de someterlas a un concurso. Es decir, para efectos del Reglamento de Radiocomunicaciones, cada banda cuenta por lo general con más de una atribución a un servicio de telecomunicaciones. Así, mientras que en términos generales las bandas descritas en la Tabla 1.1 fueron seleccionadas para servicios móviles, si la banda tiene otras atribuciones, el país también puede proponer en sus políticas públicas utilizarlas para dichas funciones, sin violar el instrumento internacional de referencia.

La UIT ha firmado con importantes organismos de normalización asiáticos un acuerdo que acelerará la comercialización de nuevas tecnologías por precios más asequibles. ARIB, CCSA, TTA y TTC han firmado con la UIT un Memorándum de Entendimiento (MoU) en el que se reconoce que la UIT es el principal organismo mundial de normalización de las TIC. El acuerdo tiene por objeto facilitar el reconocimiento internacional de las normas regionales elaboradas por esos cuatro grandes organismos regionales.

El MoU, que se beneficiará de las buenas relaciones establecidas por la UIT con los cuatro organismos durante muchos años, aumentará la transparencia entre las organizaciones, evitará la duplicación de actividades y aumentará la eficacia de la publicación de normas. Todo ello significa que los fabricantes de productos podrán incorporar más eficazmente soluciones normalizadas a escala mundial en sus productos, lo que entrañará mayores economías de escala y una disminución de los precios para los consumidores.

El acuerdo facilitará el acceso de ARIB, CCSA, TTA y TTC a las actividades de normalización internacionales, y les permitirá aprovechar la información divulgada sobre aspectos de normalización de las tecnologías incipientes. El MoU también favorecerá la identificación de temas para programas de trabajo conjuntos, a fin de evitar la duplicación de actividades.

Según los comentarios vertidos por el Dr. Hamadoun Touré, Secretario General de la UIT: "China, Japón y Corea encabezan el desarrollo de muchas de las tecnologías que sustentan la sociedad de la información. Esos tres países también han mostrado su

dedicación en la elaboración de las normas internacionales que permiten la compatibilidad necesaria para conectar el mundo sin solución de continuidad. Este acuerdo cimienta la relación entre la UIT y cuatro grandes organizaciones de normalización de la región".

La UIT es el mecanismo internacional mediante el cual se establece el entorno de diálogo entre los gobiernos de los países, la industria y los fabricantes para llegar a acuerdos globales sobre los parámetros técnicos que deberán constituir los estándares de las tecnologías analizadas. Los resultados de estos acuerdos constituyen las especificaciones técnicas mediante las cuales podrán operar las distintas tecnologías. De esta manera se garantiza que los equipos que se fabriquen observarán un mínimo requerido de parámetros técnicos para un correcto desempeño y calidad de servicio. Además, para acelerar el proceso de certificación e interoperabilidad la industria ha creado foros privados de ciertas tecnologías como WiMAX Forum, 3GPP, entre otros, para garantizar una rápida adopción de los estándares para su comercialización.

1.3 Propuesta tecnológica para el uso de la banda de 700 MHz

La demanda creciente de nuevos y mejores servicios ha llevado a los organismos desarrolladores de estándares a proponer redes cada vez más sofisticadas y versátiles haciendo uso de los últimos desarrollos en el procesamiento digital de señales e integración de circuitos. Organismos como la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, la Asociación del Proyecto de Tercera Generación (3rd Generation Partnership Project) – 3GPP, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – IEEE forman grupos de trabajos integrados por representantes de diversos organismos como los entes reguladores, los fabricantes de equipos, los desarrolladores de software y las empresas operadoras de las redes de telecomunicaciones.

1.3.1 IMT – Avanzadas

La UIT, define al Grupo de Técnicas de Acceso Radioeléctrico (GTAR) como un modelo de referencia que incluye las mínimas especificaciones de sistemas, requeridas para determinar las necesidades de espectro, asimismo indica que la estimación de los requisitos de espectro debe tener en cuenta las tecnologías pertinentes. La UIT define a los grupos GTAR 1 y GTAR 2 como:

- Grupo 1: Sistemas pre-IMT, IMT-2000 y sus mejoras: en este grupo se incluyen los sistemas móviles celulares, los sistemas IMT-2000 y sus mejoras.
- Grupo 2: IMT-Avanzadas, según se describen en la Fig. 1.2, las IMT-Avanzadas podrían ser por ejemplo, el nuevo acceso móvil y el nuevo acceso inalámbrico nómada/de área local.

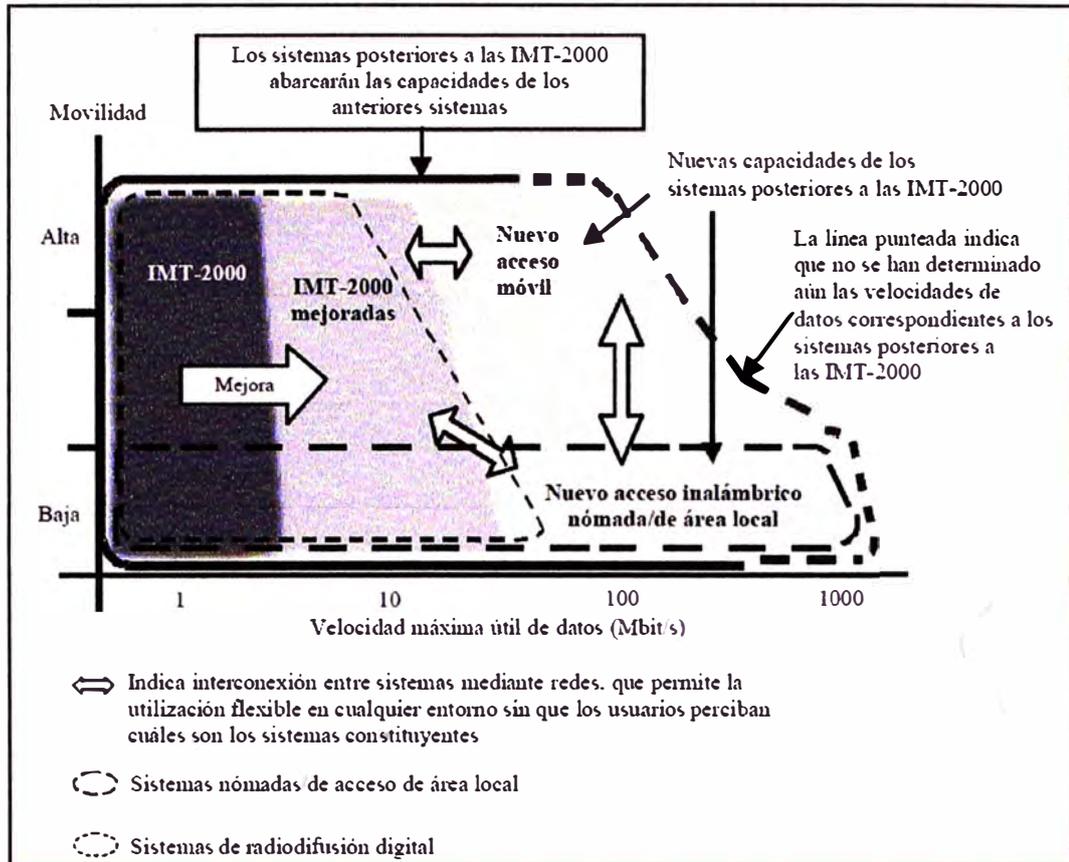


Fig. 1.2: Capacidades de la IMT-2000 y los sistemas posteriores.

Las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-Avanzadas (IMT-Avanzadas) son sistemas móviles dotados de nuevas capacidades que superan las ofrecidas en las IMT-2000. Estos sistemas dan acceso a una amplia gama de servicios de telecomunicaciones, en especial los servicios móviles avanzados, admitidos por redes fijas y móviles, que utilizan cada vez más la transmisión por paquetes.

Los sistemas de IMT-Avanzadas admiten aplicaciones de baja y alta movilidad y una amplia gama de velocidades de datos, de conformidad con las demandas de los usuarios y de servicios en numerosos entornos de usuario.

Las IMT-Avanzadas también tienen capacidades destinadas a aplicaciones multimedia de elevada calidad en una amplia gama de servicios y plataformas, lo que les permite lograr mejoras considerables de funcionamiento y calidad de servicio. Prestaciones esenciales de las IMT – Avanzadas:

- un alto grado de uniformidad de funciones en todo el mundo manteniendo al mismo tiempo la flexibilidad de admitir una amplia gama de servicios y aplicaciones rentables.
- compatibilidad de servicios con las IMT y las redes fijas.
- capacidad de inter-funcionamiento con otros sistemas de acceso radioeléctrico.
- servicios móviles de elevada calidad.

- equipo de usuario de utilización en todo el mundo.
- aplicaciones, servicios y equipos de fácil utilización.
- capacidad de itinerancia (roaming) mundial.
- velocidades máximas de transmisión de datos mejoradas para admitir aplicaciones y servicios avanzados (como objetivo a los efectos de la investigación, se han establecido velocidades de 100 Mbit/s para una movilidad alta y de 1 Gbit/s para una movilidad baja).

Gracias a estas características, las IMT-Avanzadas pueden responder a la continua evolución de las necesidades de los usuarios, y continuamente se introducen mejoras en las capacidades de los sistemas de IMT-Avanzadas en armonía con las tendencias de los usuarios y la evolución de la tecnología.

El Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) específicamente el grupo de trabajo 5D (GT 5D), ha completado la evaluación de seis opciones de la tecnología mundial de banda ancha inalámbrica móvil 4G, también conocida como IMT-Avanzadas. La armonización de estas propuestas ha dado lugar a dos tecnologías, "LTE-Avanzadas" y "MANInalámbrica-Avanzadas", designadas oficialmente con la denominación IMT-Avanzadas y calificadas como verdaderas tecnologías 4G.

Sin embargo, la UIT, mediante un comunicado ha precisado los términos considerados como tecnologías 4G, el comunicado manifiesta entre otros lo siguiente: Tras efectuar una evaluación detallada en función de estrictos criterios técnicos y operativos, la UIT ha determinado que LTE-Avanzada y Wireless-MAN-Avanzada han de incluirse oficialmente dentro de las IMT-Avanzadas. En tanto que tecnologías más punteras actualmente definidas para las comunicaciones móviles inalámbricas en banda ancha mundiales, las IMT-Avanzadas se consideran la 4G, aunque este término, aún por definir, también puede aplicarse a los antecesores de estas tecnologías: LTE y WiMAX, y otras tecnologías 3G evolucionadas, cuyo rendimiento y capacidades son sustancialmente superiores a los sistemas de tercera generación iniciales hoy implantados. La especificación detallada de las tecnologías IMT-Avanzadas se recogerá en una nueva Recomendación UIT – R.

En resumen, respecto al párrafo precedente, la UIT podría considerar como tecnologías 4G a HSPA+, LTE y WiMAX, entre otras, además de las ya consideradas LTE-Avanzada y WiMAX Avanzada. Por esta razón es que vemos que algunos operadores promocionan tecnologías 4G, cuando aun no se ha dado una verdadera transformación a la nueva generación móvil. La cuarta generación móvil se basa en una red todo IP, para ello se requiere una completa transformación a la conmutación por paquetes.

1.3.2 Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) [2]

El documento denominado Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) contiene los cuadros de atribución de frecuencias de los diferentes servicios de telecomunicaciones en la República del Perú, de tal forma que los diversos servicios operen en bandas de frecuencias definidas previamente para cada uno de ellos, a fin de asegurar su operatividad, minimizar la probabilidad de interferencias perjudiciales y permitir la coexistencia de servicios dentro de una misma banda de frecuencias, cuando sea el caso.

a. Cuadro de atribución de frecuencias

A continuación se detalla los diversos campos que se indican en el cuadro de atribución de frecuencias del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF):

- Servicios cuyo nombre está impreso en el Cuadro en “mayúsculas” (ejemplo: FIJO); éstos se denominan servicios “primarios”;
- Servicios cuyo nombre está impreso en el Cuadro en mayúsculas entre barras (Ejemplo: /RADIOLOCALIZACION/); éstos se denominan servicios “permitidos”;
- Servicios cuyo nombre está impreso en el Cuadro en “caracteres normales” (ejemplo: Móvil); éstos se denominan servicios “secundarios”.
- Los servicios permitidos y primarios tienen los mismos derechos, salvo que, en la preparación de planes de frecuencias, los servicios primarios, con relación a los servicios permitidos, serán los primeros en escoger frecuencias.
- El encabezamiento del “cuadro de atribución de frecuencias comprende dos columnas, una con la atribución para la Región 2 y otra con la atribución para Perú.

1.3.3 Estado actual de la banda de 700 MHz en el Perú

a. Servicios actuales y canales que se encuentran asignados en la porción de espectro de 698 – 746 MHz

El estado actual de la banda de 700 MHz (698 – 806 MHz) en el Perú, se encuentra consolidado en la Tabla 1.2 que muestra las asignaciones vigentes, la Tabla 1.3 cuadro de atribución de frecuencias de esa banda, así como en las notas P11A del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) que señalan que las asignaciones de frecuencia en el rango de 698 – 746 MHz migraran hacia la banda 470 - 608 y 614 - 698 MHz y la nota P51 que precisa los servicios que se han atribuido para la banda de 698 – 806 MHz respectivamente.

La Tabla 1.2 muestra las asignaciones de frecuencias para el servicio de Radiodifusión por Televisión que actualmente se tiene asignado en el rango de 698 – 746 MHz, a nivel nacional por departamento cuyas autorizaciones aun siguen vigentes, sin embargo según lo señalado en el tercer párrafo de la nota P11A: “Los titulares de

asignaciones en la banda 698 - 746 MHz migrarán a las bandas 470 - 608 y 614 - 698 MHz pudiendo utilizar para la transmisión; señales analógicas, sujetos a los plazos y condiciones que determine el Ministerio.”

Tabla 1.2: Asignaciones vigentes en la banda de 698 – 746 MHz.

UBICACIÓN DE LA PLANTA DEPARTAMENTO	CANALES DE FRECUENCIAS QUE EN EL RANGO DE 698 - 746 MHz					TOTAL
	53 fv=705.25 fa=709.75	55 fv=717.25 fa=721.75	57 fv=729.25 fa=733.75	59 fv=741.25 fa=745.75	60 fv=747.25 fa=751.75	
Amazonas						0
Ancash (*)	1	1	1			3
Apurímac						0
Arequipa (*)	1	1	1	1	1	5
Ayacucho (*)		1				1
Cajamarca	1	1				2
Cusco (*)		1	1	1		3
Huancavelica						0
Huánuco						0
Ica (*)	1	1		1		3
Junín (*)	1		1	1		3
La Libertad (*)	1	1		1		3
Lambayeque (*)		1	1	1		3
Lima (*)		1	1	1		3
Loreto (*)				1		1
Madre de Dios						0
Moquegua						0
Pasco					1	1
Piura (*)	1		1	1		3
Puno (*)		2	2	1		5
San Martín						0
Tacna (*)			1	1		2
Tumbes						0
Ucayali (*)						0
Total						41

(*): Se han modificado las canalizaciones considerando Televisión Digital - ISDB-T.

El canal 60 se encuentra asignado a IRTP.

b. Cuadro de atribución de frecuencias para la banda de 700 MHz

La atribución de frecuencias actual de la banda de 700 MHz, lo muestra el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), esta última modificación se hizo en marzo del 2011, asimismo en dicha fecha se modificó las notas P51 y P11A correspondiente al servicio de radiodifusión por televisión para el rango de 614 – 698 MHz, la Tabla 1.3 muestra la atribución vigente de la banda de 700 MHz.

Nota P51:

La banda 698 - 806 se encuentra atribuida a título primario para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones. El otorgamiento de concesión y la asignación de espectro para la explotación de dichos servicios se realizarán mediante concurso público de ofertas.

Tabla 1.3: Cuadro de atribución de frecuencias de la banda de 614 – 806 MHz.

REGIÓN 2	PERÚ	
	ATRIBUCIÓN	NOTAS Y OBSERVACIONES
614 - 806 RADIODIFUSIÓN Fijo Móvil	614 - 698 RADIODIFUSIÓN	P11, P11A Radiodifusión por Televisión
	698 - 806 Fijo Móvil	P51

c. Banda donde se migrará las autorizaciones de la porción de 698 – 746 MHz

Nota P11A:

Las bandas 470 - 608 y 614 - 698 MHz se encuentran atribuidas para el servicio de radiodifusión por televisión que utiliza la tecnología digital, su asignación se efectuará de acuerdo a las disposiciones que emita el Ministerio.

Las frecuencias previamente asignadas en las bandas 470 - 608 y 614 - 746 MHz podrán continuar siendo utilizadas para la transmisión de señales analógicas.

Los titulares de asignaciones en la banda 698 - 746 MHz migrarán a las bandas 470 - 608 y 614 - 698 MHz pudiendo utilizar para la transmisión; señales analógicas, sujetos a los plazos y condiciones que determine el Ministerio.

En la Tabla 1.4 se muestra la atribución anterior, se puede apreciar que la banda de 746 – 806 MHz, ya había sido atribuida a servicios fijos y móviles, por lo que en este rango de frecuencias no existen asignaciones del servicio de Radiodifusión por Televisión, por el contrario según lo señalado en la penúltima versión de la nota P51: La banda 746 - 806 MHz se encuentra reservada.

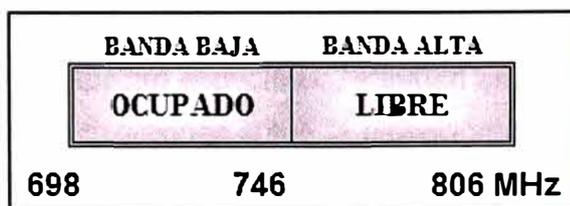


Fig. 1.3: Estado actual de la banda de 700 MHz.

Es decir esta porción se encuentra libre (ver Figura 1.3), esto representa una ventaja en el Perú y en la mayoría de los países Latinoamérica y de la Región 2 para armonizar esta banda y obtener beneficios de la economía de escala.

De lo visto anteriormente se tiene que de los 108 MHz disponibles que ofrece la banda de 698 – 806 MHz, tenemos que los 60 MHz correspondientes a la banda alta de la banda de 700 MHz, se encuentran desocupados.

Tabla 1.4: Cuadro de atribución de frecuencias de la banda de 614 – 806 MHz sin efecto.

REGIÓN 2	PERÚ	
	ATRIBUCIÓN	NOTAS Y OBSERVACIONES
614 - 806 RADIODIFUSIÓN Fijo Móvil	614 - 746 RADIODIFUSIÓN	P11 Radiodifusión por Televisión
	746 – 806 FIJO MOVIL	P51

1.4 Aspecto regulatorio.

A continuación veremos algunas necesidades que son requeridas para la banda ancha móvil y por ende para la banda de 700 MHz.

1.4.1 Agrupación de servicios

Agrupar servicios similares en bandas de espectro contiguas, favorece el desarrollo de estándares, reduce dificultades en las modificaciones de los equipos de usuarios.

Las atribuciones fragmentadas de espectro dificultan la innovación y requieren que las compañías destinen recursos a desarrollar productos o tecnologías nuevos o adaptar los existentes para un único mercado, en lugar de compartir esos costos de desarrollo a escala global. Esto, a su vez, incrementa los costos y limita la disponibilidad potencial de dispositivos y servicios para el consumidor. Más aún, lleva tiempo comercializar la tecnología nueva / modificada, lo que demora la disponibilidad de servicios y dispositivos en el mercado para satisfacer la demanda creciente de datos móviles.

Asegurar que las atribuciones de espectro son, en la medida de lo posible, acordes con las atribuciones internacionales promueve la innovación y la inversión al crear economías de escala notables.

En muchos casos, los estándares aceptados a escala global se desarrollan teniendo presente ciertas bandas de espectro específicas, y toman en cuenta la coexistencia con servicios adyacentes. Así, las decisiones sobre la atribución de espectro deben incluir el análisis de si se han armonizado ciertas bandas de espectro y si existe ya un estándar.

1.4.2 Estándares Globales [3]

Los estándares técnicos son la base para que los proveedores de servicios y fabricantes desarrollen productos y servicios competitivos. Además, los estándares ayudan a facilitar el cumplimiento regulatorio, establecer políticas de patentes para el uso de tecnologías esenciales, y sirven para energizar la inversión. Por último, los estándares

permiten que las compañías aprovechen las economías de escala que reducen los costos y promueven el crecimiento, maximizando las oportunidades para la innovación.

1.4.3 Armonización de espectro

La armonización del espectro, se describe como la canalización de bloques de espectro similares entre países de una misma región. Las ventajas de la armonización de espectro son:

- Favorece el roaming entre operadores.
- Reduce el costo del equipamiento tomando ventaja de la economía de escala.
- Disminuye la interferencia entre fronteras.

Sin la armonización de espectro los costos de equipamiento serían altos y no solo traería desventajas considerables a la industria móvil sino también a los usuarios. Es indispensable la armonización internacional, de tal modo que sea posible aprovechar los beneficios de la escala global, esto permitirá lograr economías de escala en la producción de equipamiento lo cual contribuye a reducir los costos de los terminales e infraestructura de red y así aumentar el acceso. Cuando las bandas se estructuran previamente en su totalidad de manera armonizada se logra que todas las tecnologías puedan coexistir "algo necesario para que haya neutralidad tecnológica".

1.4.4 Topes de espectro

Los toques de espectro funcionan como una herramienta de la regulación ex – ante para garantizar la competencia. Si bien es cierto que existen otras medidas para garantizar la competencia tales como:

- Reserva de espectro para operadores entrantes: el caso de la banda de 700 MHz, ofrece una oportunidad para la aplicación de este criterio, sin embargo se debe tener en cuenta que debe ir a la par con otras bandas, sobre todo las bandas altas.
- Adjudicación de un número determinado de licencias separadas: en el Perú se podría tener en cuenta las licitaciones de las bandas de espectro y su posible adjudicación por parte de los operadores actuales.
- Evaluación de las fusiones entre operadores tomando en cuenta la competencia.

Es preciso establecer leyes y normas que regulen estos aspectos de manera detallada y precisa, a fin de garantizar la competencia.

1.5 Economía de escala [4]

1.5.1 Introducción

La mayoría de los países de América Latina y el Caribe enfrentan la necesidad urgente de reducir la brecha digital mediante el incremento de la penetración de la banda ancha. En el mejor de los casos, la penetración de la banda ancha oscila alrededor del diez por ciento. En contraste con ello, la penetración de la tecnología inalámbrica para

servicios básicos de voz y datos ya supera el 95% en la región, y en varios países superó el 100% hace mucho tiempo.

Como resultado de ello, la banda ancha móvil es probablemente el habilitador óptimo de la conectividad por Internet para los residentes de la región. En algunas economías latinoamericanas, como las de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Uruguay, la tasa de crecimiento de la banda ancha móvil ha superado la tasa de acceso a banda ancha provisto por las redes fijas.

En el Perú aun no se ha superado dicho margen, como lo muestra la Tabla 1.5 que muestra las conexiones de banda ancha por tecnología y medio de acceso.

Tabla 1.5: Número de conexiones de banda ancha por tecnología y medio de acceso.

Tecnología/Medio de Acceso	Conexiones de Banda Ancha	Porcentaje %
Banda Ancha Fija	990,650.00	75.99%
Banda Ancha Móvil	313,115.00	24.01%
Total	1,304,065.00	100.00%

La banda ancha móvil ya está realizando un aporte significativo a los PBI de los países emergentes. A escala global, el auge económico de los PBI de estas naciones se estima en US \$300 - \$400 mil millones y representa 10 - 14 millones de empleos. En América Latina, las cifras comparativas son US \$50 - 70 mil millones y 1.1 - 17 millones de empleos adicionales.

Asimismo, se puede citar lo expresado por el Banco Mundial [5]:

Tal como lo formula en forma condensada la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), los beneficios de la banda ancha para el desarrollo social y económico son "bien reconocidos"². Hace referencia a los descubrimientos del Banco Mundial de que en los países de ingresos bajos y medios, cada aumento de diez puntos porcentuales en la penetración de la banda ancha corresponde a un incremento del crecimiento económico de 1.38 puntos porcentuales; el doble que en los países de ingresos altos.

Para los fines actuales, la UNCTAD señala que: La tecnología inalámbrica ofrece un punto de ingreso a la banda ancha más práctico para las naciones en vías de desarrollo. Los costos de instalación son menores que los de la banda ancha fija y con la banda ancha móvil los países pueden beneficiarse de las redes existentes.

1.5.2 Subastas realizadas en la banda de 700 MHz [6]

Hasta el momento solo se ha licitado 52 MHz de la banda de 700 MHz, en Estados Unidos de América.

Esta subasta se considero como un record histórico, el monto recaudado fue mayor a 19 mil millones de dólares, realmente una cifra record.

La Tabla 1.6 muestra la subasta de los 62 MHz de la banda de 700 MHz realizada en el año 2008 en los Estados Unidos de América:

Tabla 1.6: Subasta de la banda de 700 MHz en Estados Unidos de América.

SUBASTA 73	
Fecha	Inicio: 24/01/2008
	Fin: 18/03/2008
Bloques Subastados	Bloque A: 176 Licencias del Área Económica (EA)
	Bloque B: 734 Licencias del Área del Mercado Celular (CMA)
	Bloque E: 176 Licencias del Área Económica
	Bloque C: 12 Licencias del Área del Grupo Económico Regional (REAG)
	Bloque D: 1 Licencia sujeta a condiciones respecto a seguridad pública.
	1,099 licencias subastadas
	62 MHz subastados
Espectro	banda 698-806 MHz ("Banda 700 MHz")
Bloques Adjudicados	52 MHz adjudicados
	Bloque A: 12 MHz (698-704 / 728-734 MHz)
	Bloque B: 12 MHz (704-710 / 734-740 MHz)
	Bloque E: 6 MHz (722-728 MHz)
	Bloque C: 22 MHz (746-757 / 776-787 MHz)
	1,091 licencias adjudicadas
Ofertas Netas	\$18,957,582,150
Ofertas Brutas	\$19,120,378,000

La subasta 73 concluyó con 1090 licitaciones ganadas provisionalmente, cubriendo 1091 licencias y un total de \$19,592,420,000. Las ofertas ganadas provisionalmente para las licencias de los bloques A, B, C y E excedieron los precios agregados de reserva para estos bloques. La oferta ganada provisionalmente para la licencia del bloque D, no encontró de ninguna forma la reserva de precio aplicable y de este modo no alcanzó una adjudicación. La subasta 73 tuvo un total de \$19,120,378,000 en ofertas ganadas y \$18,957,582,150 en ofertas netas.

1.6 Recomendaciones y canalizaciones para la banda de 700 MHz [7]

A continuación veremos las diferentes canalizaciones dadas por países, entidades reguladoras y privadas, para la banda de 700 MHz.

1.6.1 Canalización de Estados Unidos de América

En la Figura 1.4 se muestra la canalización de la banda de 700 MHz realizada por la Comisión Federal de Comunicaciones – FCC.

Se debe destacar el bloque de 24 MHz en 2x12 MHz con duplexación FDD destinado para seguridad pública, asimismo los 4 bloques de 1 MHz cada uno, contemplados para el Área Económica Principal.

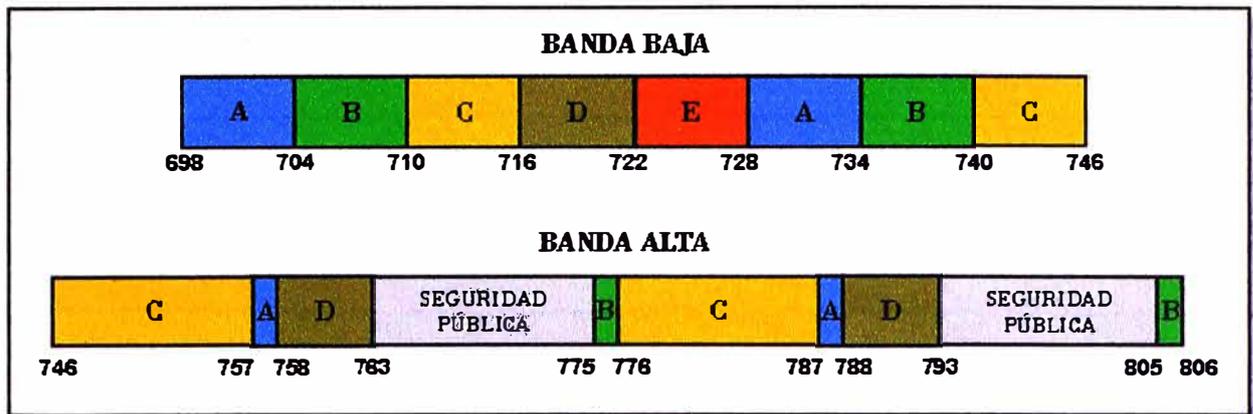


Fig. 1.4: Canalización de la banda de 700 MHz en E.E.U.U.

El operador AT&T se adjudicó los bloques B y C de la banda baja y Verizon se adjudicó el bloque C de la banda alta. El bloque D de la banda alta, se encuentra sin asignación. En la Tabla 1.7 se muestra la distribución de los bloques de frecuencia.

Tabla 1.7: Distribución de los bloques de frecuencia de la canalización de E.E.U.U.

Tipo de Banda	Bloques	Frecuencias MHz	Ancho de banda (MHz)	Duplex	Tipo de Área
Banda Baja	A	698-704, 728-734	12 en 2 x 6	FDD	Área Económica
	B	704-710, 734-740	12 en 2 x 6	FDD	Área de Mercado Celular
	C	710-716, 740-746	12 en 2 x 6	FDD	Área de Mercado Celular
	D	716-722	6	TDD	Agrupamientos de Área Económica
	E	722-728	6	TDD	Área Económica
Banda Alta	C	776-787, 746-757	22 en 2 x 11	FDD	Agrupamientos de Área Económica Regional
	D	788-793, 758-763	10 en 2 x 5	FDD	Condiciones de composición publico/privado
	A	757-758, 787-788	2 en 2 x 1	FDD	Área Económica Principal
	B	775-776, 805-806	2 en 2 x 1	FDD	Área Económica Principal
			763-775, 793-805	24 en 2 x 12	

1.6.2 Propuesta de la Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT

La UIT realizó la revisión 2 al documento 5 / 274-E con fecha 5 de diciembre de 2011. El documento "borrador de la revisión de la recomendación UIT-R M.1036-3" (draft revision of recommendation ITU-R M.1036-3), señala en la página 13 las propuestas de arreglo de frecuencias para la banda de 698 – 960 MHz, las propuestas A4, A5 y A6 corresponden a la banda de 700 MHz, que se muestran a continuación:

a. Propuesta A4 para la banda de frecuencias de 698 – 763 MHz

La Figura 1.5 muestra la propuesta A4 para la banda de 698 – 793 MHz.

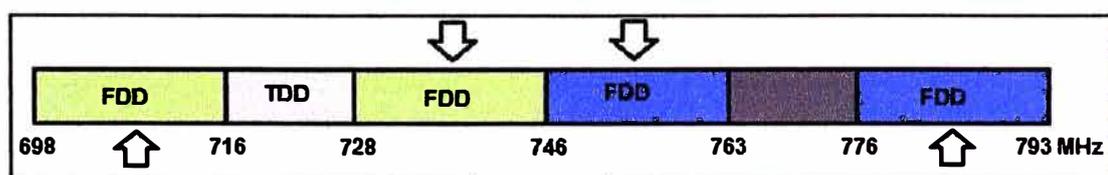


Fig. 1.5: Propuesta de canalización A4 de la banda de 698 – 793 MHz.

Esta propuesta muestra 1 bloque de 2x18 MHz y 1 bloque de 2x17 MHz en FDD, asimismo contempla 1 bloque TDD de 12 MHz y un bloque no definido de 13 MHz, este bloque sigue al bloque de seguridad pública de E.E.U.U.

b. Propuesta A5 para la banda de frecuencias de 703 - 803 MHz

La Figura 1.6 muestra la propuesta A5 de canalización para la banda de 703 – 803 MHz. Esta propuesta muestra 1 bloque de 2x45 MHz en FDD y otro de guarda de 10 MHz. Esta propuesta indica una banda de guarda de 5 MHz y de 3 MHz en la banda baja y alta respectivamente.



Fig. 1.6: Propuesta de canalización A5 de la banda de 698 – 763 MHz.

c. Propuesta A6 para la banda de frecuencias de 698 - 806 MHz

La Figura 1.7 muestra la propuesta A6 de canalización para la banda de 698 – 806 MHz. Esta propuesta muestra 1 bloque de 108 MHz en TDD.

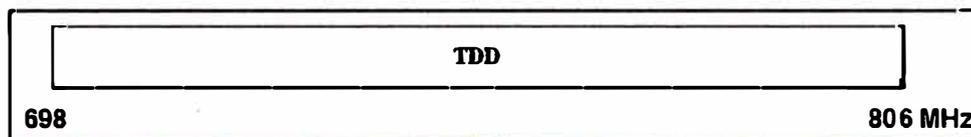


Fig. 1.7: Propuesta de canalización A6 en la banda de 698 – 806 MHz.

1.6.3 Propuesta de las entidades privadas 3GPP y WiMAX Forum

a. Propuesta de 3GPP

La Figura 1.8 muestra la propuesta de canalización del 3GPP para la operación de LTE, en la banda de 700 MHz. Esta propuesta es muy similar a la de Estados Unidos, se debe destacar que existen canales de 2 MHz y 1 MHz, como se verá más adelante el mínimo espectro requerido para operar LTE, es de 1.4 MHz, por lo que se entiende que esta canalización fue pensada para armonizar el espectro de la banda de 700 MHz en los países de la Región 2, teniendo como base la canalización de Estados Unidos.

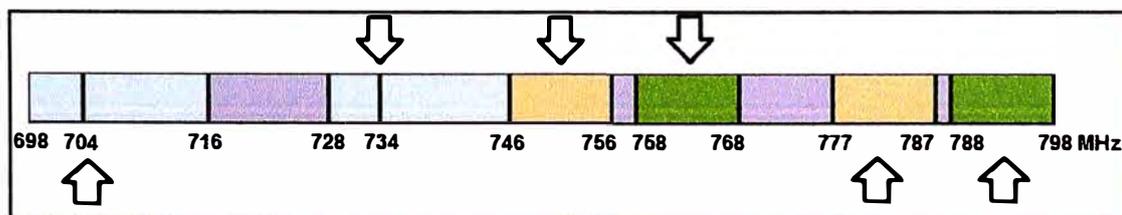


Fig. 1.8: Propuesta del 3GPP para canalización de la banda de 698 – 806 MHz.

b. Propuesta de WiMAX Forum

La Figura 1.9 muestra la propuesta de canalización para la operación de WiMAX, en la banda de 700 MHz.

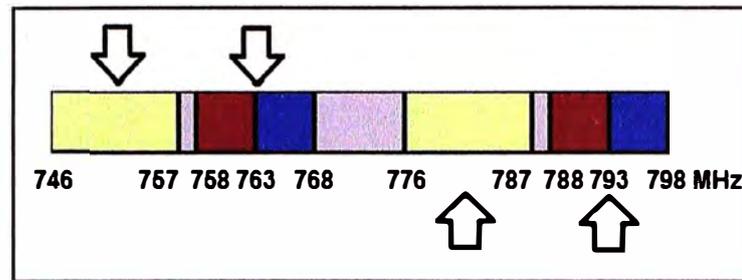


Fig. 1.9: Propuesta de WiMAX canalización en la banda de 698 – 806 MHz.

Esta propuesta contempla solo la banda alta de 700 MHz, sin embargo el WiMAX Forum también propuso una canalización del tipo TDD para toda la banda de 698 – 862 MHz.

1.6.4 La situación Europea [8]

El dividendo digital en Europa ha sido atribuido a la banda de 800 MHz (790 – 862 MHz), de otro lado, la banda de 694 – 790 MHz, se encuentra atribuida y con asignaciones vigentes para el servicio de radiodifusión por televisión.

En ese sentido, la situación europea es diferente a la que de los países de la Latinoamérica. La Figura 1.10 muestra la situación europea para el dividendo digital.

Uso de la banda de 800MHz (790-862 MHz) para aplicaciones Móviles			
País	Apagón analógico:	Método de asignación	Comentarios
Suecia	Dic 2007	Concurso	Asignado a servicios de 3G -No está permitidos servicios de radiodifusión en esta banda
Finlandia	Junio 2008	Subasta	Asignado a servicios de comunicación móviles de banda ancha. Los dispositivos de audio inalámbricos siguen utilizando esta banda hasta esté disponible otra banda de frecuencia. Dificultades de armonización en esta banda de frecuencias con Rusia
Francia	2011	Concurso	Asignado para servicios de internet móvil para el 100% de la población. La subasta para el despliegue de este servicio estará disponible en 2010
Suiza	2007	Subasta	Asignado a comunicaciones móviles de banda ancha, especialmente para cobertura rural, después de 2012
Reino Unido	2012	Subasta	Banda ancha móvil, ligada a compromisos de despliegue. Se espera la subasta en 2010
Alemania	2008	Subasta	Servicios de banda ancha móvil a través de tecnologías HSPA y LTE. Subasta 21-abr-2010
Italia	2012	Subasta	
España	2010	Por definir	Asignado a servicios móviles de banda ancha. Disponible a partir de enero de 2015

Fig. 1.10: Uso de la banda de 790 – 862 MHz en Europa.

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones CMR-12 celebrada en Ginebra en enero de 2012, se contemplo la realización de estudios de compartición de servicios en la banda de 790 – 862 MHz para las regiones 1 y 3 entre el servicio móvil y otros servicios, a fin de garantizar la protección adecuada de los servicios a los que esta atribuida esta banda y adoptar las medidas necesarias.

1.6.5 Telecomunidad Asia Pacifico – APT [9]

El objetivo de la Telecomunidad es fomentar el desarrollo de los servicios de telecomunicaciones y la infraestructura de la información en toda la región con un enfoque particular en la expansión de los mismos en las zonas menos desarrolladas.

Los países miembros de la APT son:

República Islámica de Afganistán, Australia, Bangladesh, Cambodia, República Popular de China, República de la India, República de Indonesia, República Islámica de Irán, Japón, República de Corea, Macao-China, Malaysia, Los estados Federados de Micronesia, Mongolia, La Unión de Myanmar, Nueva Zelanda, Palau, Papúa Nueva Guinea, Tailandia y La República Socialista de Vietnam.

En el Informe N° APT/AWF/REP-14, de la APT, proponen 2 disposiciones de frecuencias FDD y TDD.

a. Disposición de bloques FDD

Teniendo en cuenta las capacidades de las tecnologías de filtros más recientes consideran una estructura de 2x45 MHz, con una banda central de 10 MHz. Así, la banda disponible para servicios móviles en banda ancha estaría comprendida de 703-748 MHz y 758-803 MHz, según se muestra en la Figura 1.11.

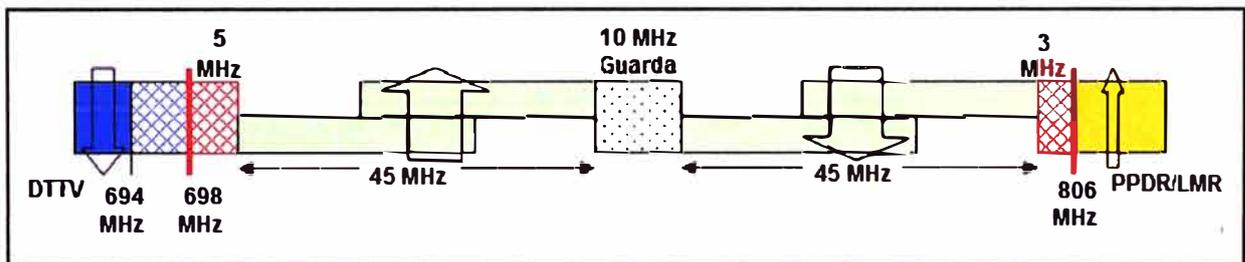


Fig. 1.11: Propuesta de canalización FDD de APT en la banda de 698 – 806 MHz.

b. Disposición de bloques TDD

Adicionalmente, se propone considerar el rango desde 703 a 803 MHz (100 MHz de ancho de banda) para aplicaciones TDD, teniendo en cuenta la necesidad de bandas de guarda en los extremos de la banda, según se muestra en la Figura 1.12:

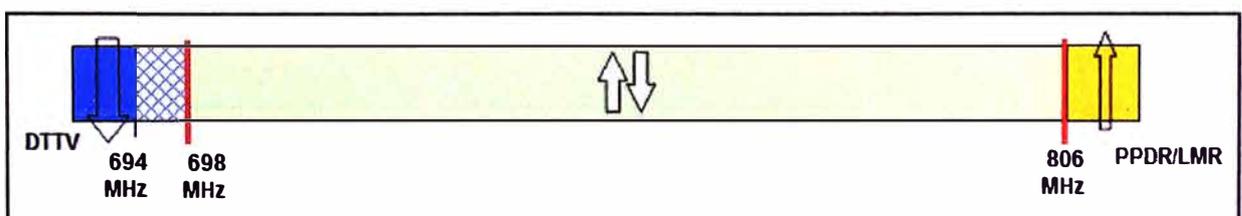


Fig. 1.12: Propuesta de canalización TDD de APT en la banda de 698 – 806 MHz.

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DE INGENIERIA DEL PROBLEMA

En el aspecto de ingeniería se verán los temas que tienen injerencia de forma directa o indirecta con el dimensionamiento de los bloques de espectro, en este capítulo se verán los temas como: 1) La arquitectura del sistema móvil; 2) Parámetros técnicos que influyen en el dimensionamiento de los bloques que serán canalizados; OFDMA, canal con multirrayectos y la estructura de la trama para LTE y WiMAX; 3) Modos de duplexación del acceso TDD y FDD; canales de guarda y tiempo de guarda 4) Planteamiento de los problemas presentados en el aspecto de Ingeniería; 5) Planteamiento de los problemas presentados en el aspecto regulatorio.

2.1 Aspectos Generales de las redes de cuarta generación [10]

2.1.1 Arquitectura del Sistema Móvil

La UIT ha publicado en diversos comunicados que las tecnologías con prestaciones suficientes para brindar la evolución a la cuarta generación móvil son: LTE Avanzada (LTE-Advance) elaborada por el 3GPP como LTE-versión 10 y WiMAX Avanzada (WiMAX Advance) elaborada por el IEEE con la aprobación de la norma IEEE 802.16m.

La Figura 2.1 muestra las evoluciones que han sufrido las diferentes tecnologías móviles inalámbricas:

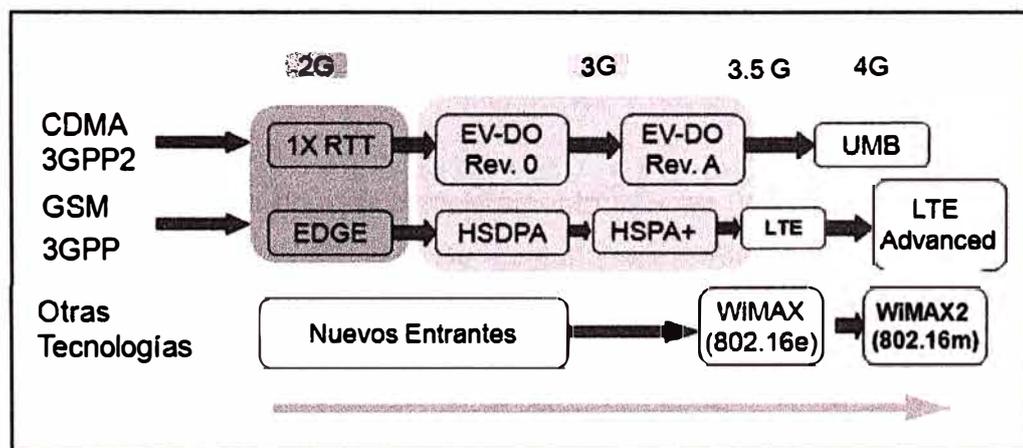


Fig. 2.1: Evoluciones de las Tecnologías Móviles Inalámbricas.

a. La Evolución de LTE

La Figura 2.2 muestra de forma general la evolución de los sistemas móviles desde GSM hasta el momento, destacando la evolución de los sistemas de conmutación.

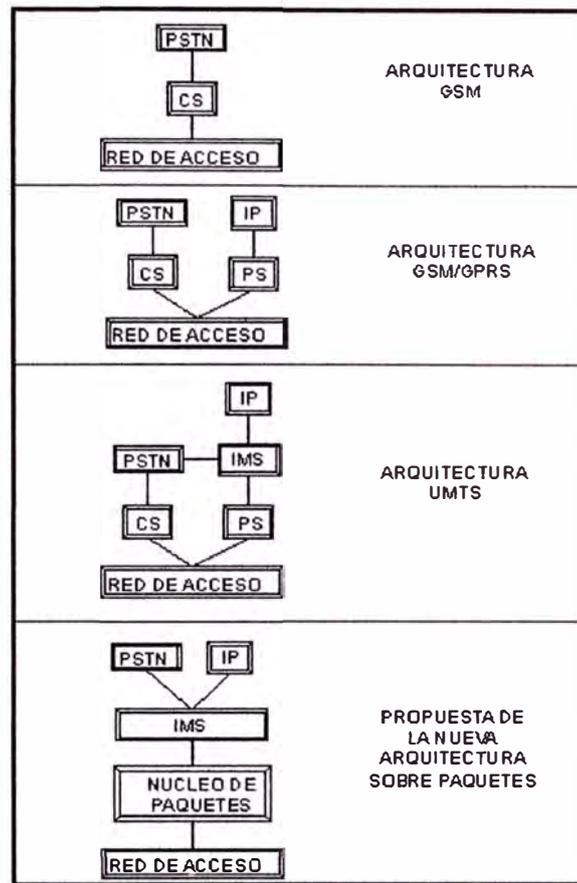


Fig. 2.2: Evolución de los sistemas de conmutación en las redes GSM.

En la actualidad las redes UMTS, constan de 3 dominios; dominio de circuitos (conmutación de circuitos - CS), dominio de paquetes (conmutación de paquetes - PS) y el dominio IMS (subsistema multimedia IP), donde cada dominio tiene su propio switch.

El dominio IMS permite la conexión de UMTS con el mundo IP. IMS es un marco referencial para la entrega de servicios multimedia usando el protocolo IP, propuesto por el 3GPP para aplicaciones móviles como una evolución de GSM. Algunas características del dominio IMS son: es una red totalmente IP, voz y datos pueden manejarse de manera similar.

Según el 3GPP, para adoptar completamente IMS, es necesaria una evolución de la tecnología de acceso del 3GPP con. De igual manera la habilidad del sistema del 3GPP para ir a la par del rápido desarrollo en el tráfico IP, necesita introducir mejoras en la tecnología de conmutación de paquetes que se ha venido utilizando. Las mejoras introducidas deben reflejarse tanto en el desempeño de la red como en los costos asociados. Entre otras mejoras podemos mencionar: reducción de la latencia, altas tasas de transmisión a nivel de usuarios, mejoras en la capacidad y cobertura, reducción general de costos, adaptación flexible y despliegue de tecnologías de acceso nuevas y existentes con movilidad a través de una red IP común. Asimismo se debe precisar que los operadores aun no han capitalizado totalmente sus redes UMTS.

La red de acceso actual en UMTS es UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network - Red de Acceso de Radio Terrestre Universal). La Figura 2.3 muestra la evolución de UTRAN hacia E-UTRAN (Evolved-UTRAN – UTRAN Mejorado).

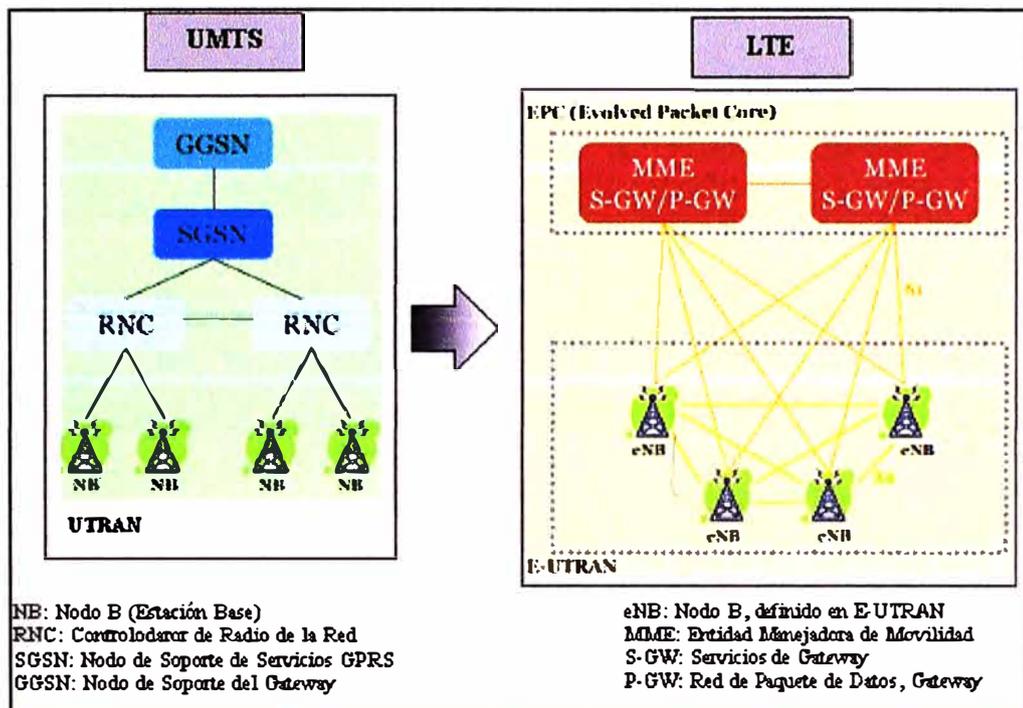


Fig. 2.3: Evolución desde UTRAN a E-UTRAN

E-UTRAN basado en OFDMA, sólo tiene un elemento el eNodeB o eNodo B, el cual está directamente conectado al núcleo de la red por medio de la interface S1, y entre ellos por la interface X2. De esta forma las mejoras que siempre son necesarias introducir se reparten entre en eNodo B y el núcleo de la red. La conexión directa entre eNodos B contribuye a reducir los paquetes perdidos en los móviles cuando se hace handoff.

El E-UTRAN se divide en dos capas: la capa de radio y la capa de transporte.

❖ Funciones del eNode B (Radio Base)

- Llevar las señales de gestión del canal de radio
- Establecimiento y finalización de las comunicaciones
- Gestión de los recursos de radio
- Transmisión y recepción de señales en la interface de radio
- Modulación y demodulación
- Codificación y decodificación de canal
- Gestión dinámica de los recursos de radio tanto en el Enlace de bajada como en el Enlace de subida
- Planificador - Scheduler de paquetes con diferentes restricciones: calidad de la señal, prioridad del usuario y calidad de servicio
- Gestión de la movilidad de los usuarios

- Configuración y medición de parámetros de la señal de radio
- Control de los algoritmos de transferencia - handover.
- Toma de decisión y determinación de la nueva celda en el proceso de transferencia - handover
- Compresión del encabezado IP y cifraje de los datos del usuario
- Garantizar la seguridad de las señales que atraviesan la interface de aire

b. La Evolución de WiMAX [11]

La Figura 2.4 muestra la evolución de WiMAX, se debe destacar que WiMAX empezó como una red del tipo TDD y con tecnologías del tipo de acceso fijo inalámbrico. Su evolución hacia una tecnología móvil se basa principalmente en ofrecer movilidad y además compatibilizar con las tecnologías móviles actuales, como son las redes GSM, UMTS y LTE, entre otras.

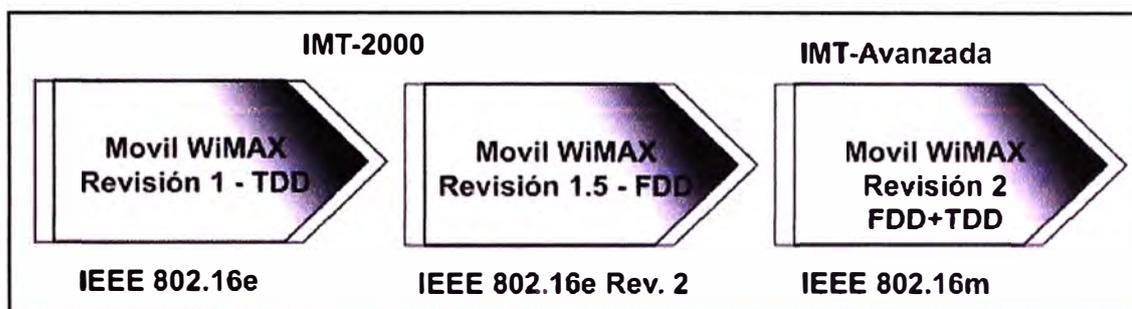


Fig. 2.4: Evolución de las diferentes revisiones de WiMAX

❖ **Proceso de Certificación - WiMAX Forum**

- Fundado en 2001
- Objetivos: promover el estándar 802.16
- Promover la certificación de equipos.
- Promover la interoperabilidad de WiMAX entre diferentes marcas.
- Garantizar la internet activa – (internetworking) con otras tecnologías
- El WiMAX Foro tiene actualmente 525 miembros: fabricantes de chips, fabricantes de equipos, prestadores de servicios, desarrolladores e integradores

❖ **Conformidad e Interoperabilidad**

Conformidad: verificada en laboratorios autorizados, la conformidad puede ser realizada por organizaciones, laboratorios independientes, agencias de certificación, etc.

Interoperabilidad: las pruebas las realizan entre organizaciones verificando el buen funcionamiento en conjunto de equipos de diferentes fabricantes.

❖ **Laboratorios de certificación**

- AT4 Wireless: España y en USA
- Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones (TTA): Korea del Sur

- Academia China de Telecomunicaciones
- Corporación de tecnología de datos avanzados: Taiwan
- CPqD en Brasil nombrado el 19 de octubre de 2009 y comenzará a certificar en 2010
- ❖ **WiMAX Mobile**
 - Basado en SOFDMA: Suministra servicios de banda ancha a 120 Km/h con QoS comparado con sistemas cableados.
 - Ancho de banda escalable, 1.25 a 20 MHz
 - Duplexación TDD y FDD.
 - Repetidor automático de solicitudes, (Automatic Repeat Request - H-ARQ)
 - Manejador de conservador de potencia – (Power Conservation Management)
- ❖ **Topología Multisalto**

En este modo se permite la comunicación directa con las BSs a través de varios saltos usando para ello las estaciones de relevo. Las RS regeneran y retransmiten las señales.

❖ Topología en Malla

Este modo es similar al multisalto, sin embargo, todas las estaciones de relevo están conectadas entre sí, formando una malla, por lo que es necesaria la implementación de algoritmos de enrutamiento en las mismas. Las MS se conectan directamente a la BS o a través de las RS.

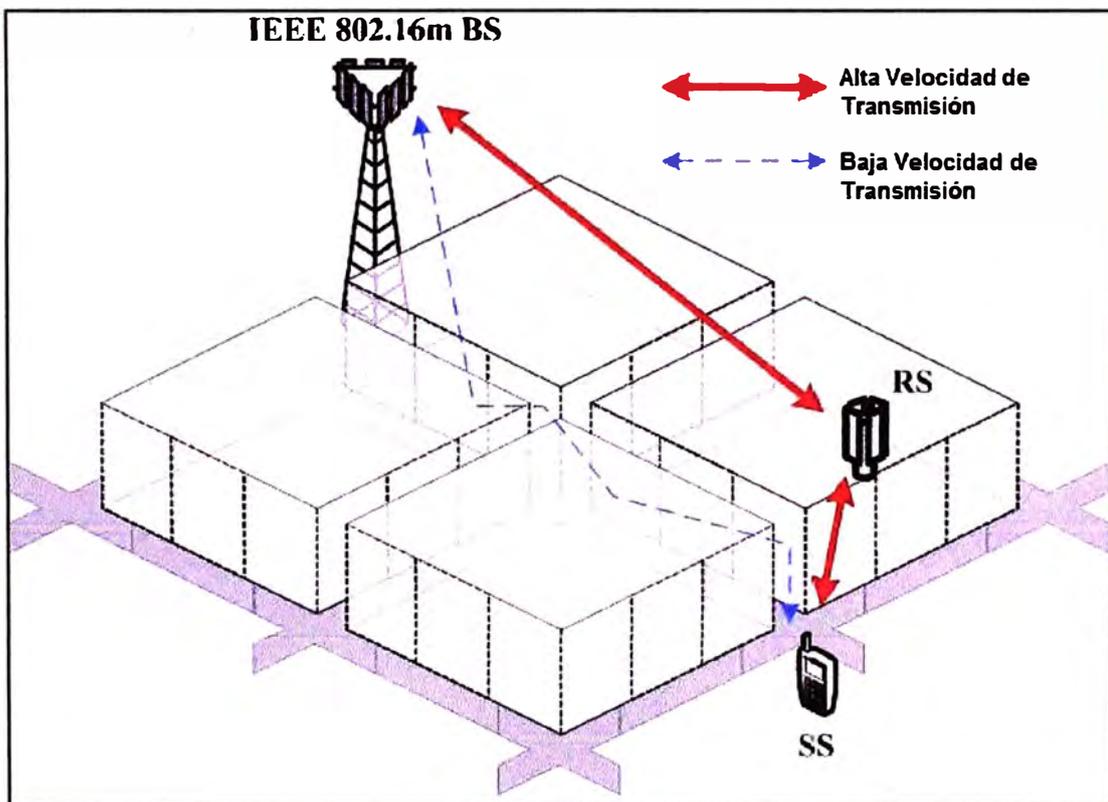


Fig. 2.5: Topología en multisalto en WiMAX Mobile.

2.2 Parámetros técnicos que influyen en el dimensionamiento de los bloques que serán canalizados

2.2.1 Introducción

En un medio no compartido, existe sólo una comunicación en curso, la cual ocupa todos los recursos disponibles de ese medio de comunicación.

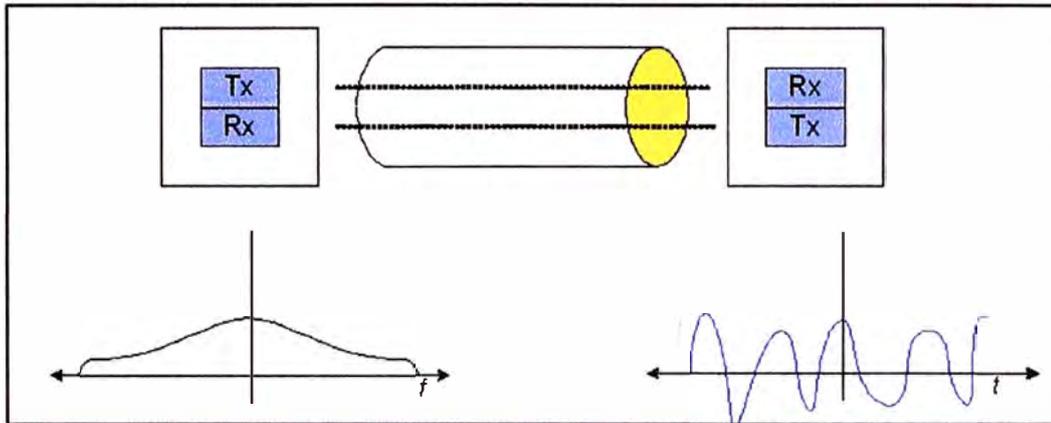


Fig. 2.6: Medio de comunicación no compartido.

- En el dominio de la frecuencia se tiene todo el ancho de banda del canal para la comunicación.
- En el dominio del tiempo se puede transmitir durante cualquier intervalo de tiempo sin interrupciones.

En un medio compartido, existe más de una comunicación en curso, cada una de las cuales ocupa sólo un porcentaje de los recursos disponibles del medio de comunicación.

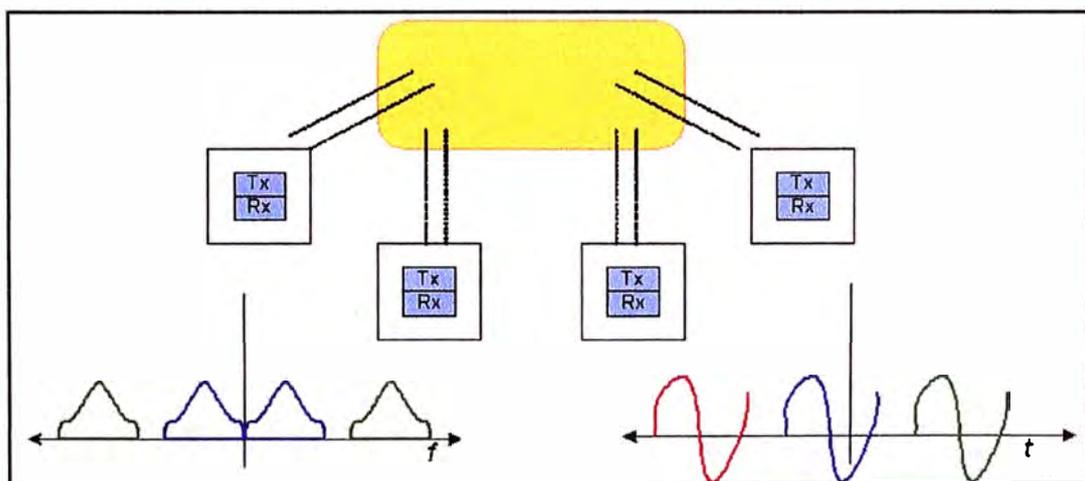


Fig. 2.7: Medio de comunicación compartido.

- Las técnicas de acceso múltiple definen la forma como los distintos usuarios acceden al medio compartido.
- Los recursos del medio pueden ser compartidos en el dominio de la frecuencia, del tiempo o en algún otro dominio que sea definido matemáticamente a partir de los dos primeros.

2.2.2 OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales) [12]

Previamente a describir el acceso OFDMA se describirá la técnica de multiplexación OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales).

a. Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales OFDM

OFDM es una técnica de multiplexación que divide un canal de frecuencia, en un número determinado de bandas de frecuencias equiespaciadas, en cada banda se transmite una sub-portadora que transporta una porción de la información del usuario. Cada sub-portadora es ortogonal al resto, dándole el nombre a esta técnica de multiplexación por división de frecuencia.

Mientras que FDM (Multiplexación por División de Frecuencias) debe dejar una banda de guarda entre canales, OFDM por su parte trata de acercar los canales lo más posible hasta superponerlos. Esto se logra escogiendo frecuencias que sean ortogonales, lo cual significa que son perpendiculares en el sentido matemático; permitiendo que sus espectros se superpongan sin interferir.

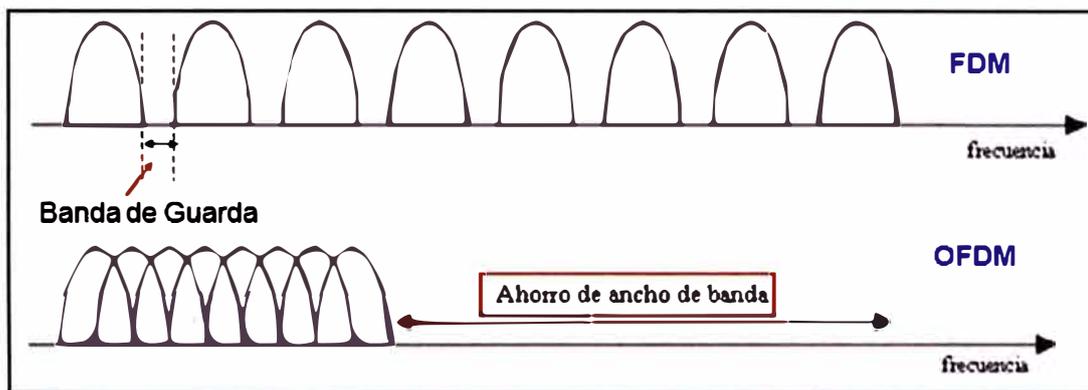


Fig. 2.8: Comparación entre FDM y OFDM

La modulación digital consiste en asociar a una portadora una amplitud y una fase de acuerdo a las combinaciones de bits de datos que entran al modulador, para crear así la constelación.

En cualquier caso la ubicación de los símbolos es conocida de antemano así como el espectro correspondiente a cada uno de ellos. La señal OFDM banda base de la sub-portadora k se representa en la Ecuación (2.1).

$$OFDM_{BB,k} = \underbrace{|\hat{S}_k| e^{j \arg(\hat{S}_k)}}_{\text{Punto de la constelación}} \underbrace{e^{j 2\pi f_k t}}_{\text{Subportadora } k} \underbrace{\Pi(t/T_s)}_{\text{Pulso Rectangular}} \quad (2.1)$$

Esta señal de banda base será modulada en diferentes frecuencias (frecuencias de las sub-portadoras) que conformarán una sola señal. Los puntos de constelación se refieren a la modulación de las sub-portadoras con frecuencia f_k encapsuladas en el pulso rectangular.

❖ Espectro FDM

El espectro de frecuencia en FDM es una superposición de canales diferentes. Dado que estos canales tienen componentes en todas las frecuencias, aparece la interferencia entre canales, afectando a la señal de cada una de las sub-portadoras. Una solución sería la separación de estas sub-portadoras para evitar lo más posible el efecto de esta interferencia, sin embargo esto causa una baja eficiencia espectral (aumentar el ancho de banda en MHz y brindar la misma capacidad en bits por segundo bps).

❖ Espectro OFDM

Para mejorar la eficiencia espectral las sub-portadoras tienen que estar ubicadas de tal manera que no interfieran sobre el resto de los canales del espectro. La solución, la proporciona OFDM, el espectro de cada canal debe tener el valor nulo (cruce cero) en todas las frecuencias de los canales restantes del espectro.

A continuación en la Figura 2.9 se puede apreciar que en el espectro OFDM los cruces por cero coinciden para diferentes sub-portadoras.

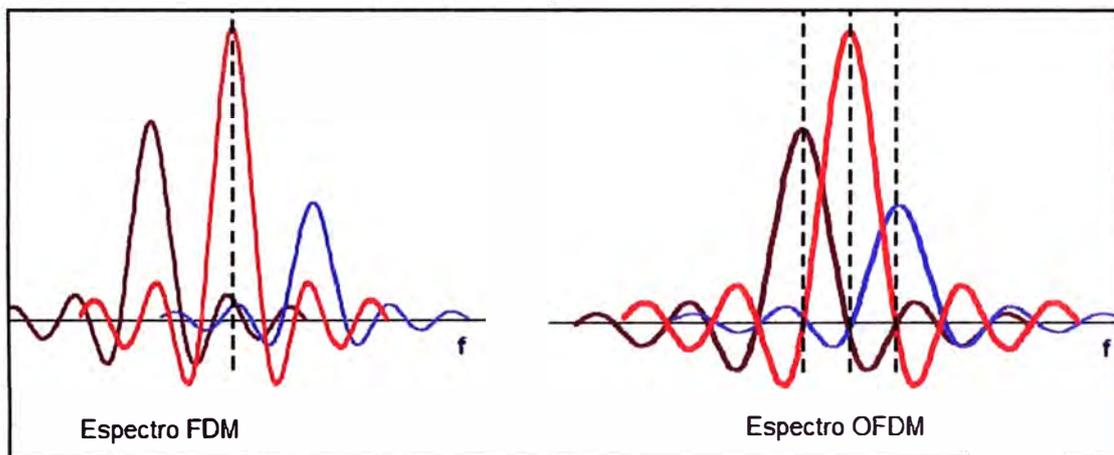


Fig. 2.9: Espectro FDM y espectro OFDM.

Dado que las sub-portadoras OFDM no se interferirán, estas son transmitidas en flujos paralelos, esto incrementa la eficiencia espectral. Por otro lado, algunas secuencias de sub-portadoras al encontrarse en fase y luego de sumarse, producen picos altos, esto se ve reflejado en el valor elevado de la relación de potencia pico con potencia promedio.

❖ Señal OFDMA

La técnica OFDMA utiliza OFDM para acceder, mediante el enlace de bajada, al usuario final (tanto en LTE como en WiMAX).

2.2.3 SC-FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Portadora Simple)

En SC-FDMA se utiliza todo el ancho de banda disponible, transmitiendo las sub-portadoras en flujos secuenciales, y no en paralelo como lo hace OFDMA. Por otro lado, al no existir suma de sub-portadoras en fase, la relación de potencia pico con potencia promedio (PAPR) se ve muy reducida en comparación con OFDMA.

Esta es una diferencia esencial entre LTE y WiMAX, pues para el enlace de subida se utiliza SC-FDMA en LTE, mientras que en WiMAX se utiliza OFDMA, esto se ve reflejado en el consumo de potencia del equipo terminal.

En la Figura 2.10 se puede apreciar la forma como la BTS recibe los bloques SC-FDMA de forma secuencial.

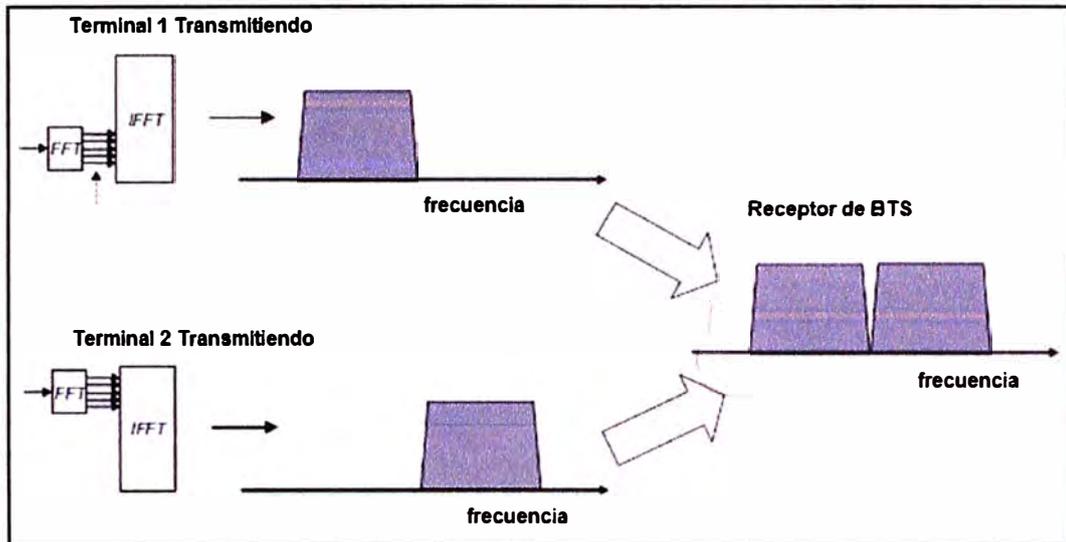


Fig. 2.10: Recepción de los bloques SC-FDMA en la estación base.

2.2.4 Ventajas y desventajas de SC-FDMA y OFDMA

En la Figura 2.11 se aprecia la diferencia entre SC-FDMA y OFDMA

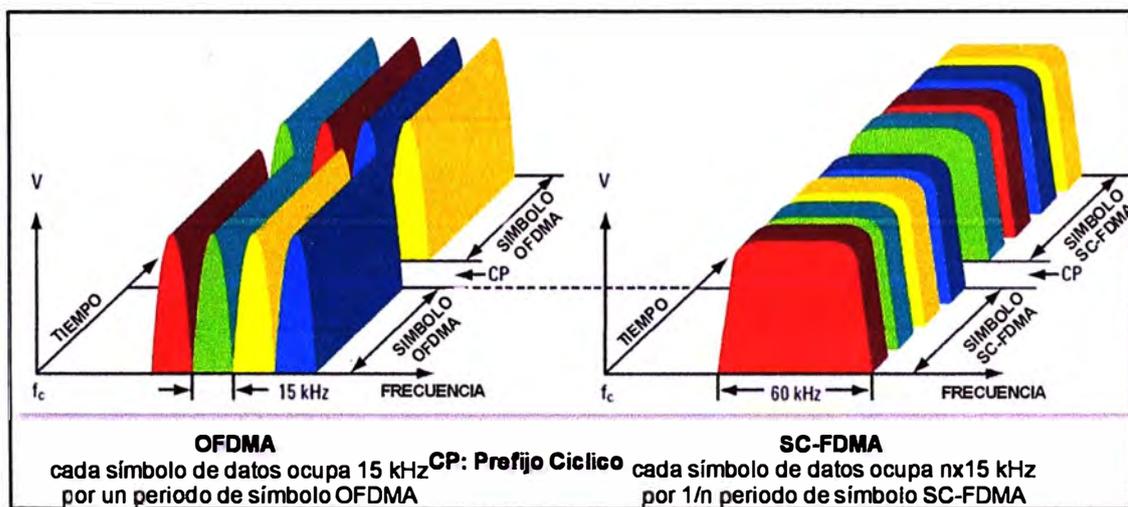


Fig. 2.11: Símbolos OFDMA y SC-FDMA

a. Ventajas OFDMA

- Reducción de la Interferencia Intersimbólica
- Alta eficiencia espectral

b. Desventajas OFDMA

- Valor elevado de la relación de potencia pico con potencia promedio (PAPR)
- Muy sensible a cambios en la frecuencia de las sub-portadoras

c. Ventajas SC-FDMA

- Reducción de la Interferencia Intersimbólica
- Alta eficiencia espectral
- Implementación fácil a través del uso de FFT e IFFT
- Valor pequeño de la relación de potencia pico con potencia promedio (PAPR)
- Amplificador de potencia en transmisión más sencillo que OFDMA
- Reduce el consumo de potencia

d. Desventajas SC-FDMA

- Receptor mucho más complejo
- En LTE se usa SC-FDMA en el enlace de subida, dejando la complejidad a la estación base, la cual tiene más recursos.
- En recepción se debe usar un ecualizador banda ancha.
- En el caso de LTE se usa SC-FDMA sólo en el enlace de subida así estos ecualizadores se emplean sólo en la estación base.

2.2.5 Canal inalámbrico con multitrayectos

Las reflexiones de la señal del transmisor dan lugar a degradaciones en el nivel de potencia o distorsión de la señal. En particular, un camino secundario ligeramente mayor puede ocasionar la cancelación completa del trayecto principal, esto se muestra en la Figura 2.12.

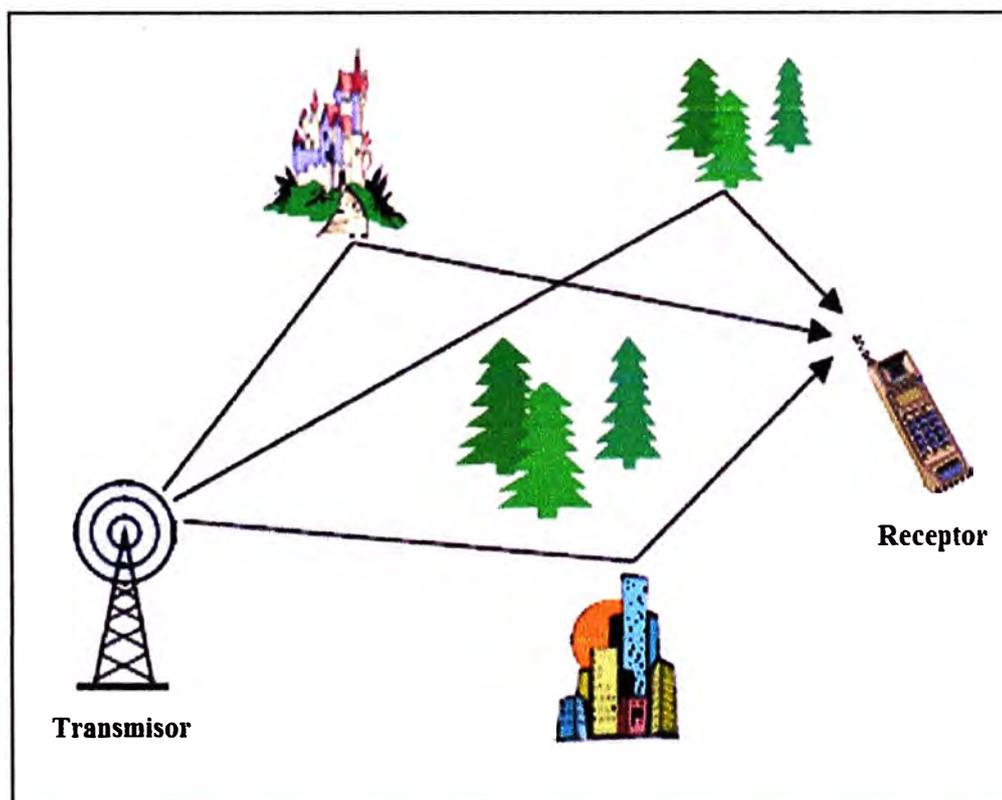


Fig. 2.12: Canal radioeléctrico con multitrayectos

a. Interferencia entre símbolos (ISI)

El receptor recibe múltiples copias del mismo símbolo, con retrasos en el tiempo (interferencia entre símbolos).

En un canal con multitrayectos, debido al retardo entre los símbolos que llegan al receptor se origina una modificación del espectro OFDM, lo cual llevaría a la misma situación que se presenta en el espectro FDM, con interferencias entre los canales.

A esta situación se le denomina pérdida de la ortogonalidad de la señal OFDM, a fin de entender mejor esta situación se muestra en la Figura 2.13 como la ventana FFT (Transformada de Fourier Rápida que se implementa en el receptor, a fin de recuperar la señal del principal) recupera el símbolo 2 de transmisión en camino directo, sin embargo también recupera parte del símbolo 1 de los caminos con multitrayectos.

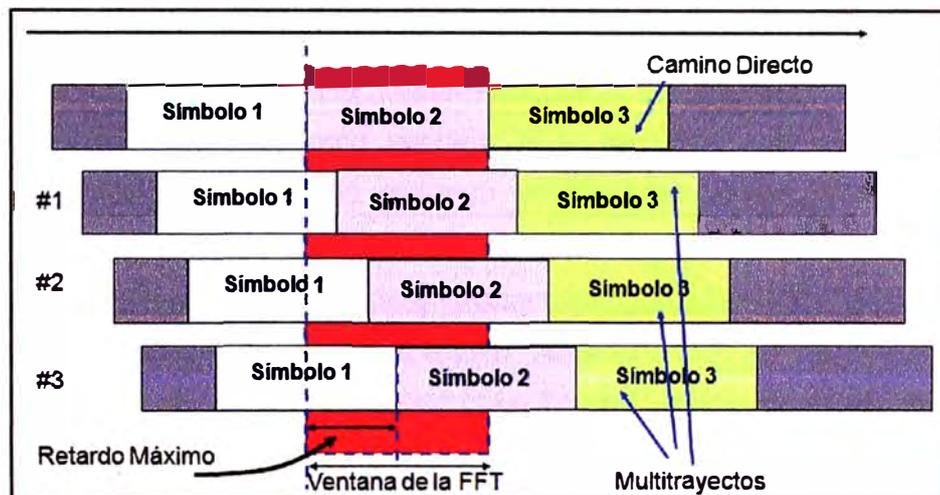


Fig. 2.13: Pérdida de la ortogonalidad de la señal OFDM.

Algunas consideraciones acerca de la interferencia entre símbolos:

- Una tasa alta de datos implica una tasa alta de símbolos (tasa de baudios)
- Una tasa alta de símbolos implica símbolos de tamaño corto.
- La solución a la interferencia entre símbolos puede ser aumentar el tamaño de los símbolos en el canal de transmisión (prefijo cíclico).
- El inconveniente es que los símbolos más largos se traducen en una tasa de símbolos menor, y por tanto un canal de baja capacidad, asimismo en un aumento del ancho de banda a considerar.

b. Prefijo cíclico

En la Figura 2.14 se muestra el prefijo cíclico, el tamaño del prefijo cíclico se escoge adecuadamente para que sirva como tiempo de guarda para eliminar el ISI. Esto se logra escogiendo el prefijo cíclico superior al mayor tiempo de retardo del canal. La selección de la duración del prefijo cíclico se logra escogiendo las últimas muestras de cada símbolo y se copian al inicio del mismo.

En WiMAX 802.16e el tiempo del prefijo cíclico (T_g) se escoge a partir de los parámetros fijos "G" (relación del tiempo del prefijo cíclico) y " T_b " (tiempo útil del símbolo).

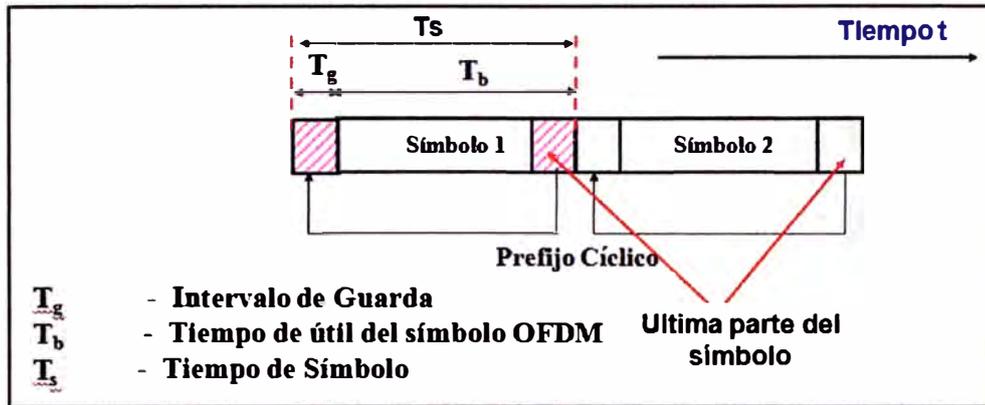


Fig. 2.14: Ilustración Prefijo Cíclico PC.

c. Símbolos OFDM con el prefijo cíclico

En la Figura 2.15 se muestra la recuperación de la señal OFDM, con el prefijo cíclico incluido, se puede apreciar como ventana FFT, recupera solo el símbolo 2 de la transmisión por el camino directo evitando la interferencia con los símbolos de los caminos con multitrayectos. Esto hace que las señales retrasadas a causa de los efectos multitrayectos caigan en el intervalo de guarda y sean ignoradas por el receptor.

En el receptor se suprime el prefijo cíclico, se compensan los efectos del canal y se emplea la transformada rápida de Fourier (Fast Fourier Transform, FFT) para demodular la señal.

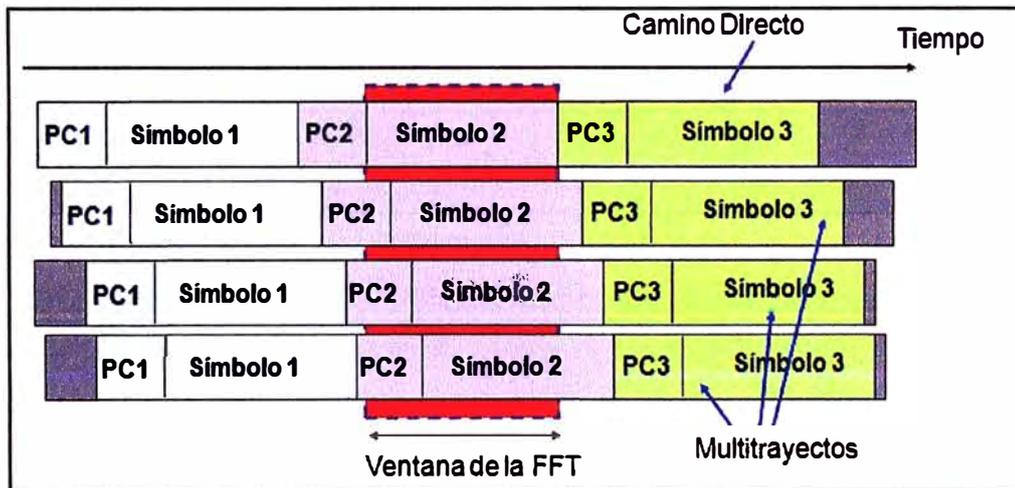


Fig. 2.15: Corrección de la interferencia entre símbolos, utilizando el prefijo cíclico.

2.2.6 Estructura de la trama del enlace de bajada para LTE y para WiMAX

Para el enlace de bajada ambas tecnologías utilizan OFDMA, sin embargo se describirán las dos a fin de establecer las diferencias entre ambas tecnologías. La cantidad de sub-portadoras posibles en OFDM se hallan a partir de la ortogonalidad de las señales, sin embargo, la señal OFDM no es limitada en banda y la "cola espectral"

debe ser tomada en cuenta, por lo que se ha considerado una cantidad de sub-portadoras que sirvan de bandas de guarda entre sub-portadoras, en consecuencia, existen sub-portadoras útiles (Nused) y sub-portadoras nulas que no llevarán información, sin embargo se utilizan como bandas de guarda, sub-portadoras DC.

a. Cantidad de sub-portadoras posibles a partir de la ortogonalidad OFDM [13]

Si fijamos $\Delta f = 1/T_s$ es la separación entre sub-portadoras, sabemos que cada frecuencia se obtiene sumándole a la anterior la separación en frecuencia Δf .

Por ejemplo, la frecuencia W_1 se obtiene a partir de ecuación (2.2).

$$\boxed{\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega} \quad (2.2)$$

Donde W_0 es la menor frecuencia que se puede asignar a una sub-portadora. Para que W_1 y W_0 sean ortogonales se debe cumplir lo señalado en la ecuación (2.3) que se muestra a continuación:

$$\boxed{\int_0^{T_s} \sin(\omega_0 t) \sin(\omega_1 t) dt = -\frac{1}{2} \frac{\sin(2\omega_0 T_s)}{2\omega_0 + \Delta\omega} = 0} \quad (2.3)$$

Entonces se anula el término $\sin(2W_0 T_s) = 0$ y eso ocurre cuando $2W_0 T_s = n\pi$, $n = 0, +/-1, +/-2, \dots$, y sabiendo que $T_s = 2\pi/\Delta W$, obtenemos la parametrización de las frecuencias ortogonales, dichas frecuencias se pueden obtener a partir de la ecuación (2.4).

$$\boxed{\frac{4\omega_0 \pi}{\Delta\omega} = n\pi \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad f_{fund} = \frac{\Delta f}{4}} \quad (2.4)$$

Un ejemplo es cuando $n=4$; entonces $W_0 = \Delta W$ y las frecuencias de las sub-portadoras son: $\Delta W, 2\Delta W, 3\Delta W, \dots (N_{used} - 1) \Delta W$.

En esta secuencia no está la fundamental.

El índice n , sólo define la frecuencia inicial y el tiempo de símbolo lo define la fundamental; la cual puede o no estar dentro de las frecuencias asignadas a las sub-portadoras.

La Tabla 2.1 muestra la especificación de la separación (Δf) entre sub-portadoras para las tecnologías LTE y WiMAX.

Tabla 2.1: Especificación de la separación entre portadoras.

Tecnología	LTE	WiMAX
Δf	15 kHz	10.9375 kHz

La frecuencia fundamental se obtiene de acuerdo con los valores de n de la ecuación 1.4, esto se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Frecuencias fundamentales para LTE y WiMAX.

n	LTE	WiMAX
1	3.75 kHz	2.7344 kHz
4	15 kHz	10.9375 kHz

Las frecuencias sub-portadoras en (kHz) para $n=1$ y $\Delta f=15$ kHz en LTE son: 3.75, 18.75, 33.75, 48.75,...

Las frecuencias sub-portadoras en (kHz) para $n=4$ y $\Delta f=15$ kHz en LTE son: 15, 30, 45, 60, 75,...

Las frecuencias sub-portadoras en (kHz) para $n=1$ y $\Delta f=10.9375$ kHz en WiMAX son: 2.7344, 13.6719,...

Las frecuencias sub-portadoras en (kHz) para $n=4$ y $\Delta f=10.9375$ kHz en WiMAX son: 10.9375, 21.875, 32.8125,...

La cantidad de sub-portadoras posibles se halla entonces considerando un ancho de banda establecido, a través del cual se dividirán las sub-portadoras posibles, dicha cantidad se halla utilizando una simple ecuación como la cantidad de términos en una sucesión aritmética.

La Tabla 2.3 muestra la cantidad de sub-portadoras posibles, se debe tener presente que esta cantidad hace referencia a un simple caso de generación de señales a partir de osciladores de frecuencia teniendo como parámetro fijo el valor de Δf .

Tabla 2.3: Sub-portadoras posibles a partir de la ortogonalidad de la señal OFDM.

BW	Cantidad de sub-portadoras posibles	
	$\Delta f=15$ kHz	$\Delta f=10.9375$ kHz
20 MHz	1333	1828
10 MHz	666	914
5 MHz	333	457
1.4 MHz	93	128

La implementación de sub-portadoras para el caso especificado en la Tabla 1.9 es demasiado costosa, es por ello que OFDM a pesar de haber existido hace mucho tiempo no tenía el éxito comercial que ahora goza.

El resurgimiento de OFDM se debe en gran parte a la evolución que ha tenido la industria de procesadores y microprocesadores, como el procesador digital de señales (DSP).

b. Relación del algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y OFDM [14]

Tal como se ha visto en el punto 2.2.2 la señal OFDM es una combinación de sub-portadoras ortogonales entre sí, esto quiere decir en el dominio de la frecuencia que se encuentran separadas por un mismo " Δf ".

Para poder muestrear la señal OFDM se debe poder muestrear cada sub-portadora y convertirla del dominio de frecuencia al dominio del tiempo. Esto es posible utilizando la Transformada de Fourier. Si se pretende utilizar el algoritmo de la Transformada de Fourier Discreta (DFT) esto se convierte en implementaciones demasiado costosas y lentas debido a la cantidad de sumas y multiplicaciones que utiliza el algoritmo de la DFT.

Sin embargo, debido a la evolución del DSP, se ha logrado implementar eficazmente la Transformada Rápida de Fourier (FFT), la diferencia fundamental radica en que; mientras la DFT realiza N^2 multiplicaciones complejas y $N(N-1)$ sumas complejas, la FFT lo hace de forma logarítmica, es decir utiliza $\frac{N}{2} \log_2 N$ multiplicaciones complejas y $N \log_2 N$ sumas complejas, siendo N el número de muestras tomadas de la señal original. En la Tabla 2.4 se muestra la comparación de estos dos algoritmos.

Tabla 2.4: Comparación de algoritmos de la Transformada de Fourier.

Para N=1000 muestras	
DFT	FFT
1,000,000 Multiplicaciones	4,983 Multiplicaciones
999,000 sumas	9,966 sumas

De la Tabla 2.4 se puede inferir que FFT utiliza solo el 0.5% y el 1% de procesos computacionales para multiplicaciones y sumas respectivamente, en comparación de los utilizados por DFT.

De otro lado, la disposición de la información en frecuencia que proporciona el algoritmo FFT es la misma que se requiere en OFDM, es decir señales en el dominio de la frecuencia separadas por un mismo " Δf ". Debemos recordar que FFT transforma del dominio del tiempo a dominio de la frecuencia, por lo que para la generación de la señal OFDM se requerirá su inversa la IFFT (Transformada Inversa Rápida de Fourier).

Es por estas razones que al implementar OFDM se piensa siempre en utilizar FFT, y justamente por ello es que existe la relación entre el número NFFT y el ancho de banda de OFDM.

Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equiespaciadas por " Δf ", que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IFFT y la FFT. Como se vio en los párrafos precedentes el algoritmo FFT incluye el término $\log_2 N$, para las sumas y multiplicaciones que implica el proceso de la Transformada de Fourier, dado que N representa el número de muestras a la entrada de IFFT o FFT, este número N debe ser necesariamente potencia de 2, a este tipo de configuración se le conoce configuración Radix – 2 (base 2). Para efectos de entender mejor la trama OFDM, se mostrara un ejemplo sencillo de la FFT.

Ejemplo:

- Para una señal senoidal $s(t) = \text{sen}(2\pi ft)$
- Frecuencia de la señal $f = 50\text{Hz}$
- Frecuencia de Muestreo $f_s = 1000\text{Hz}$
- Tamaño de muestras $L=20$ muestras

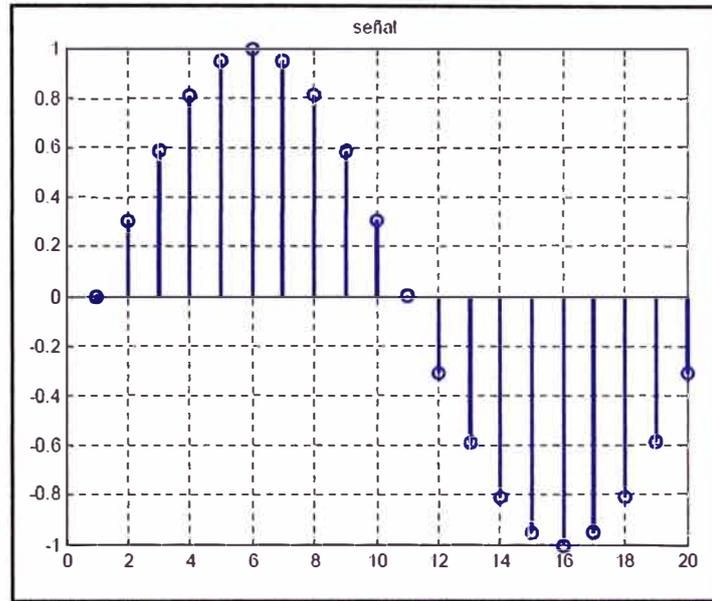


Fig. 2.16: Señal senoidal en el tiempo discreto, muestreada con 20 muestras

La entrada para la FFT debe ser en el dominio del tiempo discreto, tal como se muestra en la Figura 2.16.

La Figura 2.17 muestra el espectro de la señal senoidal de entrada del ejemplo, en el caso de OFDM se tienen sub-portadoras equiespaciadas con un Δf , recordando se puede tener los casos, para $n=4$:

En LTE: 15, 30, 45, 60, 75,...

En WiMAX: 10.9375, 21.875, 32.8125,...

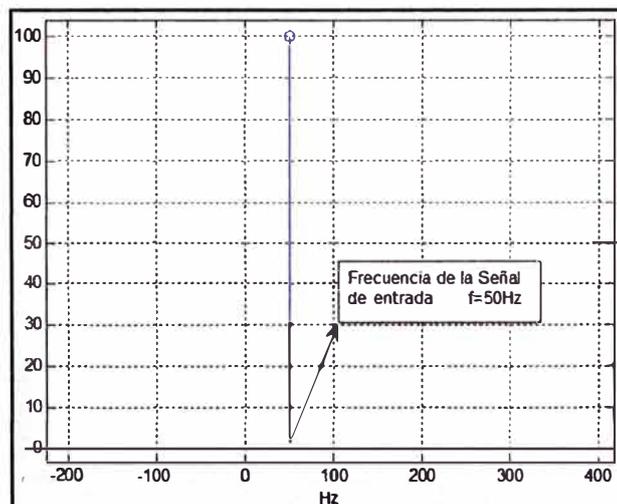


Fig. 2.17: Espectro de la señal de entrada al FFT.

Incrementando una cantidad de $L=108$ ceros (los ceros significan muestras de potencia nula) como se muestra en la Figura 2.18, en OFDM los ceros aumentados antes de la etapa IFFT (IFFT se utiliza en la modulación de la señal OFDM), se utilizan para la generación de bandas de guarda entre sub-portadoras.

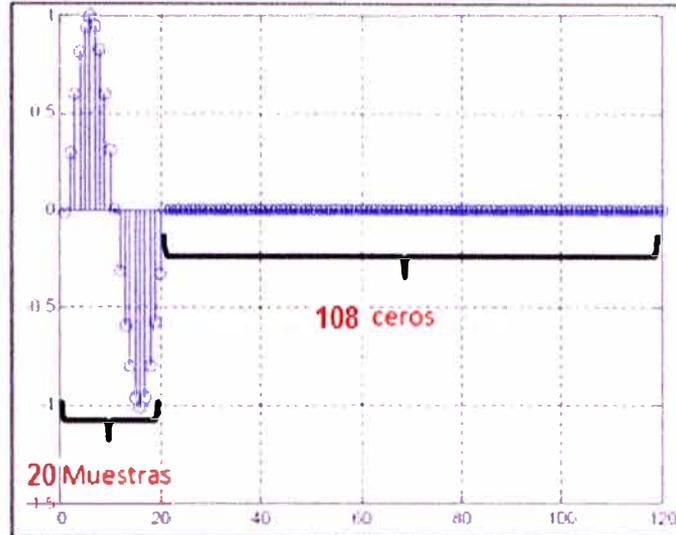


Fig. 2.18: Señal senoidal en el tiempo discreto, con muestras ceros aumentadas

En la Figura 2.19 puede apreciar la salida en el dominio de la frecuencia debido a la entrada en el dominio del tiempo.

Al comparar las Figuras 2.17 y 2.18, advertimos que la señal de entrada posee solo un espectro en frecuencia y la señal de salida tiene 128 muestras espectrales, es decir la cantidad aumento de 1 a $1 \times \text{NFFT}$.

Esta conclusión es importante ya que el NFFT afecta directamente a los espectros (frecuencias) en la entrada distribuyéndolos por el número NFFT.

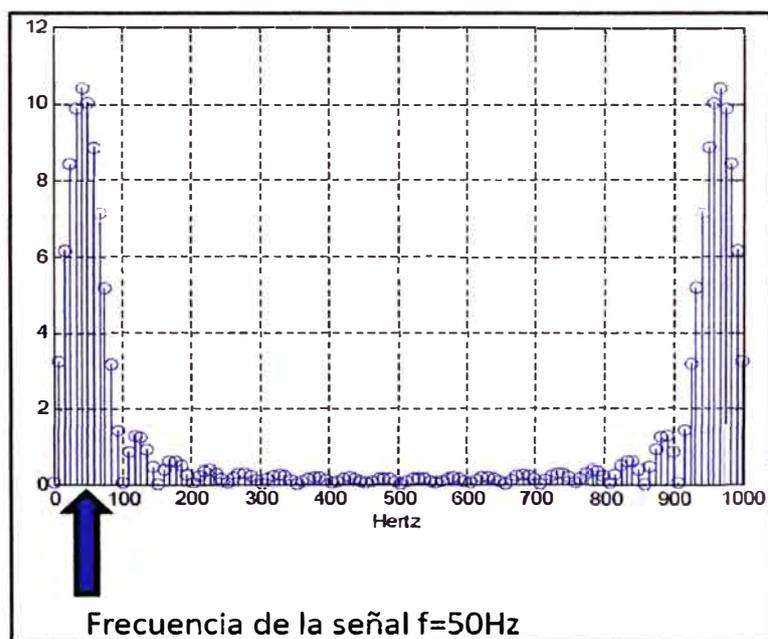


Fig. 2.19: Espectro de salida del FFT debido a la entrada senoidal.

Considerando el espacio entre las sub-portadoras Δf o lo que es lo mismo su ancho de banda, y la frecuencia de muestreo f_s , se tiene según el teorema del muestreo que $f_s \geq 2\Delta f$, sin embargo se tiene que:

$$\frac{1}{T_b} = \Delta f = \frac{f_s}{NFFT} \quad (2.5)$$

A fin de esquematizar, lo descrito en los párrafos precedentes, la Figura 2.20 muestra la modulación general OFDM.

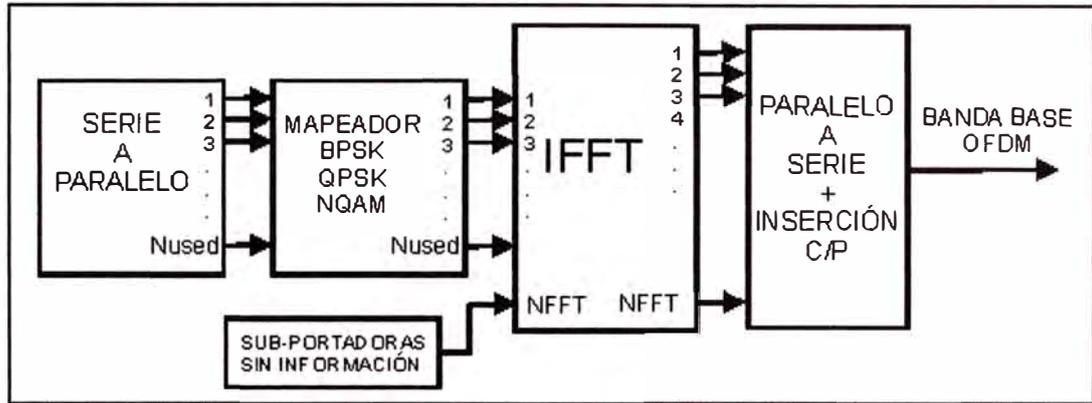


Fig. 2.20: Bloque general de la modulación OFDM en la estación base.[15]

Como se puede apreciar de la Figura 2.20, las sub-portadoras útiles (Nused) son menores que NFFT ya que se adicionan sub-portadoras sin información que vienen a ser las sub-portadoras de guarda, DC y pilotos, a fin de completar el número NFFT.

La señal de entrada al modulador OFDM es un flujo binario continuo. Si se van a modular N sub-portadoras simultáneamente, la primera operación debe ser la conversión del flujo binario de entrada, en serie, en un flujo de coeficientes en paralelo, este flujo se segmenta en símbolos, de acuerdo a la constelación a utilizar y se obtiene un mapa de los símbolos, representados ahora por números complejos, que corresponden a la representación de la señal en el dominio de frecuencia.

El siguiente paso es realizar la transformada inversa de Fourier sobre esos N coeficientes para obtener una señal en el dominio del tiempo y, como la señal de entrada al transmisor debe ser un flujo binario en serie, es necesario convertir nuevamente la señal, ahora transformada, de paralelo a una señal en serie.

A la salida del conversor paralelo a serie, se inserta el prefijo cíclico, en que se copian los datos del final del bloque y se pegan al principio, lo que hace que las señales retrasadas a causa de los efectos multitrayecto caigan en el intervalo de guarda y sean ignoradas por el receptor. Dado que, la asignación de los nuevos bloques de espectro serán implementados en la estación base, se verá la estructura de la trama en el enlace de bajada, para LTE y WiMAX.

c. Estructura de la trama del enlace de bajada en LTE en modo FDD [16]

El ancho de banda del canal ya se encuentra establecido, son valores que van desde 1.4 hasta 20 MHz, en el presente informe se mostrará solo los canales de 5, 10, 15 y 20 MHz, se debe precisar que en todos los anchos de banda se define una estructura denominada Recurso de Bloque (RB) con una anchura de 12 sub-portadoras de 15 kHz de ancho para cada una, es decir un RB tiene 180 kHz de ancho, estos RBs pueden ser localizados o dispersos. La Tabla 2.5, muestra los parámetros generales de las especificaciones de Ancho de banda en LTE.

Tabla 2.5: Parámetros generales del Ancho de Banda en LTE.

Ancho de Banda del Canal BW canal (MHz)	5	10	15	20
Cantidad de Recursos de Bloque (RB)	25	50	75	100
Número de Sub-portadoras Útiles	300	600	900	1200

La Figura 2.21 muestra un Recurso de Bloque RB, se debe precisar que en la figura se está tomando a 7 símbolos OFDM (estructura normal - prefijo cíclico normal).

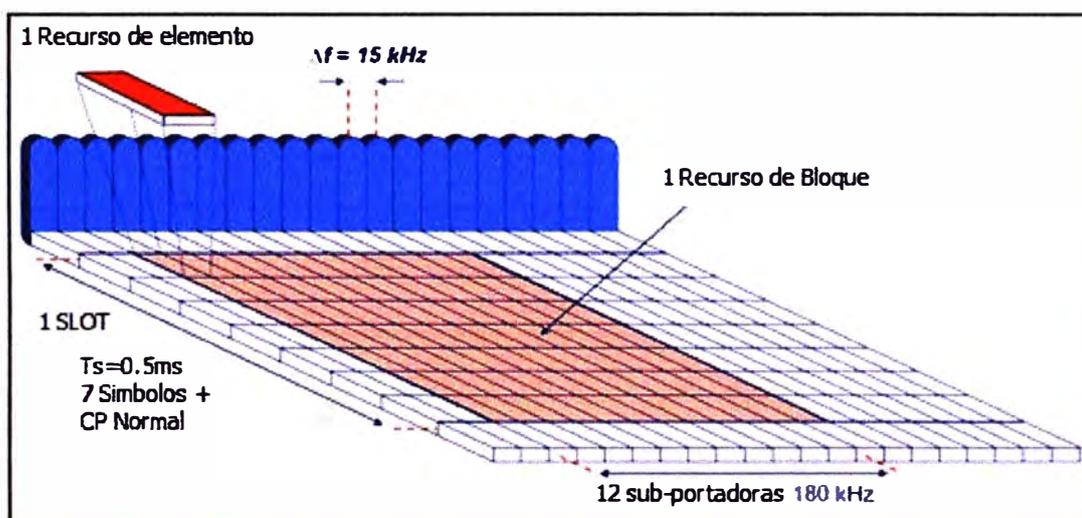


Fig. 2.21: Recurso de Bloque RB con CP normal (7 símbolos OFDM + CP Normal).

La Tabla 2.6 muestra la distribución de los parámetros para los diferentes anchos de banda, estos se calculan a partir de los parámetros fijos como:

- Tiempo de Slot: especificado para LTE con 0.5 ms.
- Espaciamiento entre sub-portadoras: para LTE este espaciamiento es de 15 kHz.

Como ya se había señalado el valor de la frecuencia de muestreo se calcula a partir del tamaño del FFT, se debe destacar que para el ancho de banda de 15 MHz, se está utilizando una ventana FFT diferente que del algoritmo de Radix-2.

La utilización de tramas con prefijo cíclico extendido es en general de uso rural y la de prefijo cíclico normal de uso urbano.

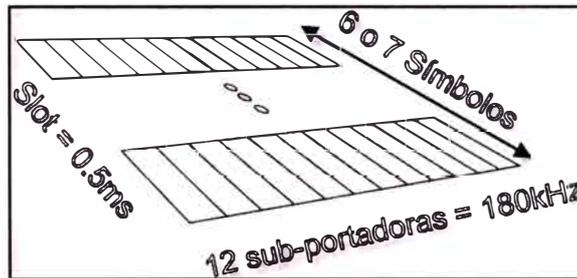
Tabla 2.6: Distribución de parámetros para los anchos de banda comunes en LTE [17]

BW (MHz)	5	10	15	20
Tiempo de Slot (ms)	0.5	0.5	0.5	0.5
Δf (kHz)	15	15	15	15
Fs (MHz)	7.68	15.36	23.04	30.72
NFFT	512	1024	1536	2048
Longitud del CP (us/muestra) Normal	(4.69/36)x6	(4.69/72)x6	(4.69/108)x6	(4.69/144)x6
	(5.21/40)x1	(5.21/80)x1	(5.21/120)x1	(5.21/160)x1
Longitud del CP (us/muestra) Extendido	(16.67/128)x6	(16.67/256)x6	(16.67/384)x6	(16.67/512)x6

Los parámetros fijos son la separación entre sub-portadoras (Δf) y la duración del Tiempo de Slot, sin embargo para formar la trama se tiene el siguiente esquema:

- 1 Trama → 10 sub-tramas
- 1 Sub-trama → 2 slots
- 1 Slot → 6 ó 7 (Símbolos OFDM + CP)

En el dominio de la frecuencia como en el dominio del tiempo, las dimensiones del Recurso de Bloque RB (180 kHz, 0.5 ms) se mantienen inalterables.

**Fig. 2.22:** Recurso de Bloque General

En el dominio de la frecuencia siempre existen 12 sub-portadoras con ancho de banda de 15 kHz cada una que hacen un total de 180 kHz.

En el dominio del tiempo, la duración de un símbolo es también fija, sin embargo el slot está compuesto por los prefijos cíclicos que tienen diferente duración según sea el caso, para estructura normal (7 símbolos y 7 CPs) o extendida (6 símbolos y 6 CPs). En la Tabla 2.7 se puede apreciar el balance de los tiempos para el slot OFDM.

Tabla 2.7: Balance de los tiempos en 1 Slot OFDM.

	Utilizando CP Normal		Utilizando CP Extendido	
Tg: Tiempo del CP	6x4.69 (us)	0.02814 (ms)	6x16.67 (us)	0.1 (ms)
	1x5.21 (us)	0.00521 (ms)		
Tb: Tiempo Útil símbolo	(1x7)/15 (ms)	0.46667 (ms)	(1x6)/15 (ms)	0.4 (ms)
Tiempo de Slot (ms)		0.5 (ms)		0.5 (ms)

En LTE, para el enlace de bajada existe además la posibilidad de tener una separación entre portadoras $\Delta f = 7.5$ kHz, en este caso se utiliza el prefijo cíclico extendido, para ello se tiene 24 sub-portadoras que forman los 180 kHz y se utiliza solo 3 símbolos por slot, con 1024 muestras para este prefijo cíclico. La aplicación va por el lado de transmitir señales broadcast compartiendo una sola frecuencia.

Como ya se había mencionado LTE posee dos modos de operación, utilizando la duplexación FDD y TDD. La trama FDD es la misma para el enlace de bajada y el de subida en términos de trama, sub-trama, duración del slot, sin embargo la asignación de las señales físicas es diferente.

La Figura 2.23 muestra una trama OFDM – FDD – LTE, para un ancho de banda de 20 MHz, utilizando un NFFT de 2048, con prefijo cíclico normal (7 símbolos).

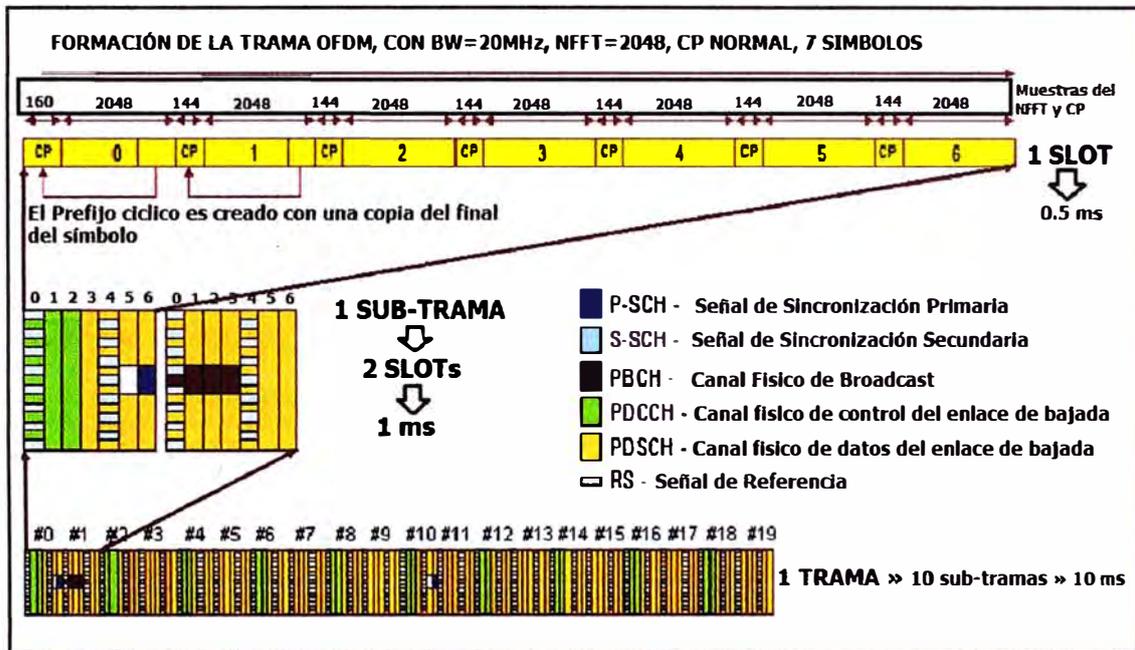


Fig. 2.23: Formación de la trama OFDM – FDD – LTE, BW=20 MHz

Los canales físicos se describen como sigue:

- Las señales de referencia RSs se envían en el símbolo 0 de la 1^{ra} sub-portadora y en el símbolo 4 de la 4^{ta} sub-portadora. Siendo este el caso más simple para una sola antena, sin embargo como se verá luego, con los sistemas de antenas MIMO, es posible lograr la transmisión por los caminos multitrayectos. La posición de RS varía con el puerto de la antena y la longitud del CP.
- P-SCH se transmite en símbolo 6 de los slots, 0 y 10 de cada trama; ocupa 62 sub-portadoras.
- S-SCH se transmite en símbolo 5 de los slots, 0 y 10 de cada trama; ocupa 62 sub-portadoras.
- PBCH se transmite en los símbolos 0 al 3 del slot 1; ocupa 72 sub-portadoras.

- El PDCCH puede ocupar desde 1 hasta un máximo de 3 símbolos OFDMA y ocupa toda la banda de frecuencia. Existe un canal llamado PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel) que le indica al equipo de usuario cuantos símbolos OFDMA ocupa el PDCCH.
- El PDSCH es el canal de datos más importante del DL en LTE, es usado para llevar todos los datos a los usuarios desde el eNode B. el uso especial del PDSCH Lleva la información broadcast que no se transmite por el PBCH, transporta la información de paging, en LTE no hay un canal físico específico para paging, el canal lógico y de transporte relacionado con el paging son transformados a nivel físico en el PDSCH.

d. Estructura de la trama del enlace de bajada en LTE en modo TDD

La trama TDD consta de 10 ms, es más simple y está compuesta por dos sub-tramas de 5 ms, las sub-tramas sirven para cualquiera de los enlaces de subida o de bajada, se tiene un a sub-trama especial que contiene un slot de tiempo para el enlace de bajada y de subida separados por un periodo de guarda.

Las sub-tramas 0 y 5 son para el enlace de bajada y la sub-trama 1 siempre es siempre una sub-trama especial, sin embargo la composición de las otras sub-tramas varían dependiendo de la configuración de la trama. La Figura 2.24 muestra la estructura general de la trama TDD.

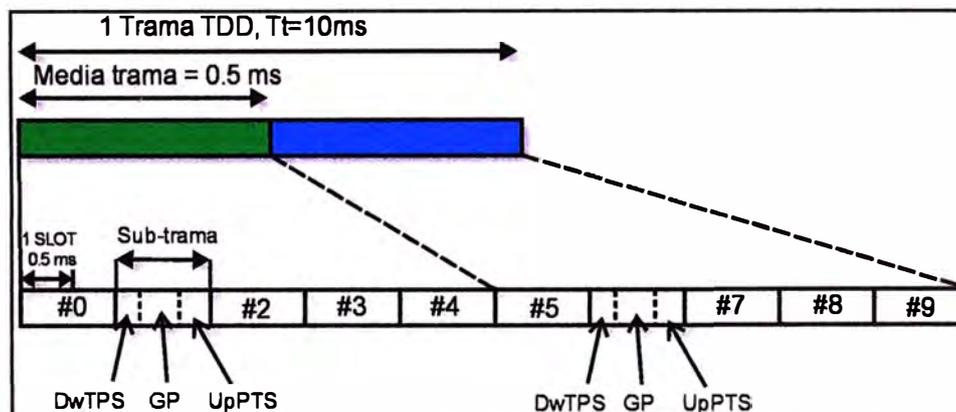


Fig. 2.24: Estructura de la trama OFDM – TDD – LTE

❖ Scheduler

Uno de los principios básicos de la red de acceso de LTE es compartir dinámicamente recursos tiempo-frecuencia entre los canales DSCH y USCH.

Esta función se realiza dentro de la subcapa MAC por medio de una entidad llamada el scheduler.

La asignación del DL y del UL se pueden hacer independientemente en FDD; en TDD sólo debe considerarse la relación de asimetría del tráfico.

El Scheduler debe determinar, cuales UEs (equipos de usuarios) recibirán datos en el PDSCH y en cuál(es) de los recursos de la matriz tiempo-frecuencia, para un slot de

duración 1 ms. Varios terminales pueden recibir en paralelo asignaciones de recursos en el DL, por lo tanto habrá un PDSCH por cada terminal, cada uno ubicado en un conjunto particular de recursos. La unidad básica de recursos que asigna el Scheduler es el recurso de bloque (RB) integrado por 12 sub-portadoras, cada una con un ancho de banda de 15 KHz, lo que hace un total de 180 KHz de ancho de banda por cada RB.

El Scheduler también determina cuantos recursos se asignan (tamaño del Payload), la modulación, la codificación de canal; en caso de múltiples antenas determina la asignación de las mismas.

El algoritmo de Scheduling tiene la función de la distribución de los recursos de una celda entre los UEs y entre los bearer de cada UE, esto se realiza en el eNode B y toma en cuenta la QoS de cada bearer.

El algoritmo de scheduling no está definido por el 3GPP y se deja libre a los fabricantes, a pesar de que todos están basados en la calidad del enlace y en las políticas de calidad y servicio (Quality of Service QoS).

La información sobre las condiciones del canal, es transmitida desde el UE al eNodeB por medio de un reporte de calidad del canal denominado CQI canla indicador de calidad (Channel Quality Indicator).

A pesar de que el eNodeB es responsable de asignar los recursos, el UE es responsable, en último instante de decidir al cual Radio Bearer se los asigna.

❖ **Sistemas de Antenas**

- Crear diversidad y multiplexaje temporal y espacial
- Incrementar la eficiencia espectral
- Aumentar la capacidad del sistema
- Expandir la cobertura
- Mitigar los efectos de los multirrayectos
- MIMO es usado en WiFi, WiMAX y en LTE
- MIMO permite enviar diferentes símbolos por elementos radiantes distintos
- Beamforming puede enviar sólo un símbolo

Existen diversas formas de utilizar un sistema de antenas, tal como se muestra en la Figura 2.25. La notación es fácil de recordar, S: single (única), M: Multiple, I: input (entrada), O: output (salida). Asimismo, se debe mencionar el sistema co-mimo, es decir un MIMO cooperativo.

Más adelante se verá la dificultad que impone los sistemas de antenas para implementar equipos de usuarios en la banda de 700 MHz, esto debido a las diferentes bandas que un equipo multibanda debe aceptar y principalmente a los requerimientos de más de antenas en el equipo para utilizar MIMO.

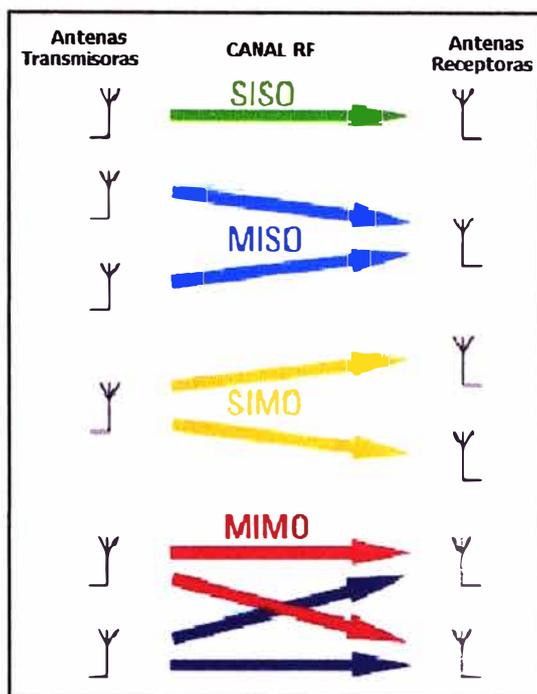


Fig. 2.25: Diversas formas de sistemas de antenas

❖ Tecnología MIMO en LTE

- Diversidad Espacial
- SU-MIMO (Single User MIMO) aplica sólo al DL
- MU-MIMO (Multiple User MIMO) aplica al DL y al UL
- CO-MIMO (MIMO cooperativo)

❖ Su-mimo

Único usuario, con múltiples entradas y múltiples salidas, aplica sólo al DL. La Figura 2.26 muestra un ejemplo de la utilización de sistemas su-mimo y como benefician la capacidad final del usuario.

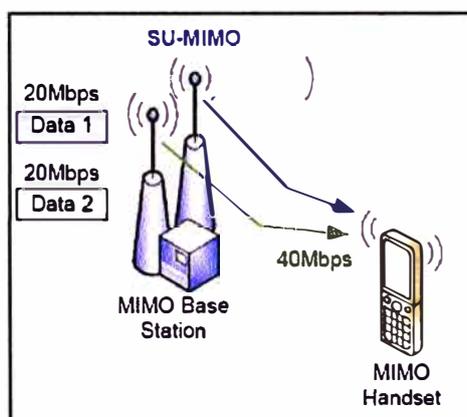


Fig. 2.26: Ejemplo del sistema de antena SU-MIMO

❖ Mu-mimo

Múltiples usuarios, con múltiples entradas y múltiples salidas) aplica al DL y al UL. La Figura 2.27 muestra un ejemplo de mu-mimo y su beneficio.

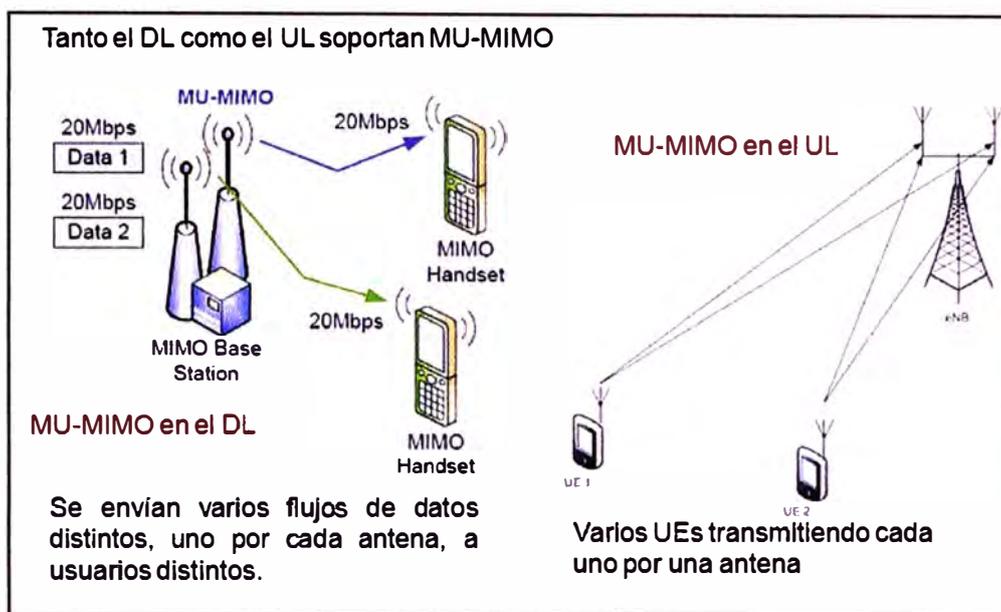


Fig. 2.27: Ejemplo del sistema de antena MU-MIMO

En LTE se usa esta configuración para 2 o 4 antenas transmitiendo en el DL para un simple UE. Cada flujo de datos define lo que se conoce como una “Capa Espacial” o “MIMO Layer” o “MIMO Rank”, entonces LTE puede soportar hasta 4 capas espaciales. Esta configuración aplica al PDSCH el cual transmite los datos de usuarios.

❖ **Diversidad espacial**

- En el Transmisor

Consiste en enviar el mismo símbolo a través de diferentes caminos de propagación independientes, para ello existen varias antenas en el transmisor.

- En el Receptor

Consiste en disponer de varias antenas en el receptor y así obtener varias copias de la información enviada.

- Permite combatir el desvanecimiento producido por el canal.

- Incrementa la relación señal-a-ruido SNR.

❖ **Multiplexaje espacial**

- Consiste en transmitir símbolos distintos por antenas distintas en el mismo canal de frecuencia.

- Mientras que la diversidad espacial mejora la SNR, el multiplexaje aumenta el throughput.

❖ **Co-mimo**

Este caso se conoce como cooperativo, pues las dos estaciones base (eNB), colaboran para el enlace de bajada, compartiendo flujo de datos pre-codificados espacialmente para al menos un equipo de usuario. Es eficiente cuando el usuario se encuentra en el límite de la celda.

La Figura 2.28 muestra un esquema total respecto al tratamiento de las señales en los tres dominios: tiempo, frecuencia y espacio.

Los recursos de transmisión en LTE están definidos por la triada (tiempo, frecuencia, espacio). El tiempo se define por la cantidad de símbolos OFDM que se asignan, la frecuencia por la cantidad de sub-portadoras, y el espacio por la cantidad de antenas usadas.

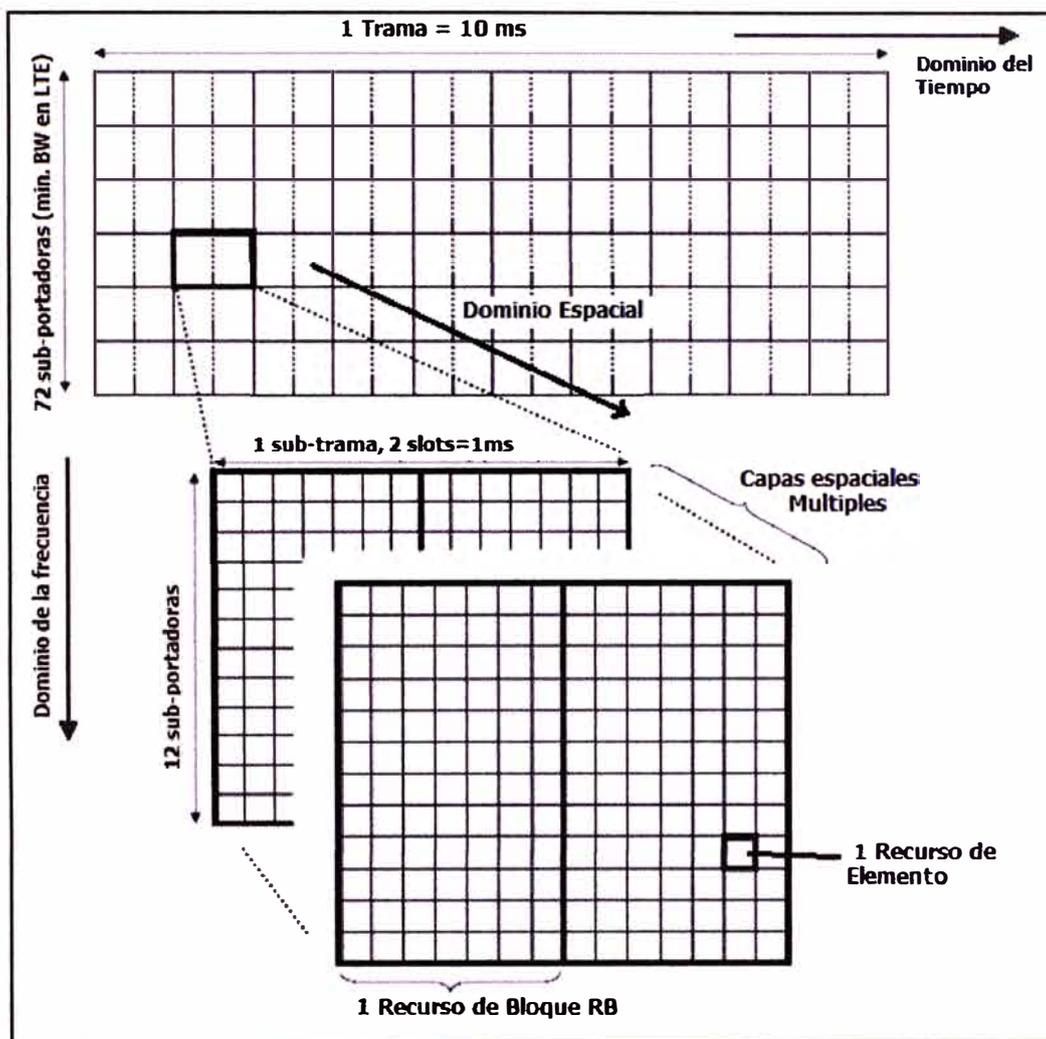


Fig. 2.28: LTE en los tres dominios, tiempo, frecuencia y espacio.

e. Estructura de la trama en WiMAX IEEE 802.16m en modo FDD y TDD [18]

La convivencia entre duplexaciones temporales TDD y FDD fue exigida en el documento "IEEE 802.16m requerimiento de sistemas, IEEE 802.16m-07/002r9, Setiembre 2009.

La estructura básica de la trama se muestra en la Figura 2.29 que soporta tanto FDD como TDD, la supertrama dura 20 ms, se divide en 4 supertramas iguales de 5 ms e incluye la cabecera de la supertrama.

Una sub-trama es asignada para el enlace de bajada o de subida, hay cuatro tipos de sub-tramas:

- Sub-trama tipo 1: 6 símbolos OFDM
- Sub-trama tipo 2: 7 símbolos OFDM
- Sub-trama tipo 3: 5 símbolos OFDM
- Sub-trama tipo 4: 9 símbolos OFDM, este tipo se aplica solo al enlace de subida para el ancho de banda de 8.75 MHz.

La estructura básica de la trama se aplica a esquemas de duplexación FDD y TDD, incluyendo la operación AMS H-FDD.

Hay 2 puntos de conmutación en la trama para sistemas TDD, estos puntos son definidos como un cambio de dirección, por ejemplo: para el cambio desde el enlace de bajada al de subida o del enlace de subida al de bajada.

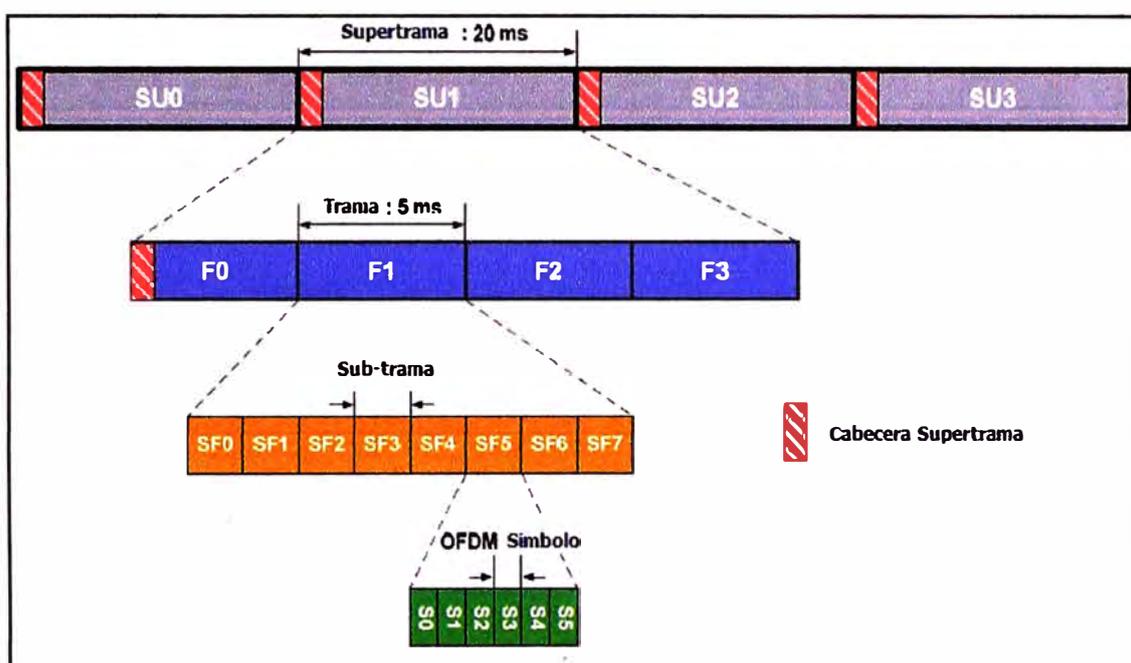


Fig. 2.29: Estructura básica de la trama, para BW=5, 10 y 20 MHz

❖ Estructura de Trama para $CP=1/8T_u$

Para anchos de banda de canal de 5 MHz, 10 MHz y 20 MHz, tenemos 8 sub-tramas tipo 1 para FDD, y 7 sub-tramas tipo 1 y una sub-tramas tipo 3 para TDD.

La Figura 2.30 esquematiza un ejemplo de la estructura de trama TDD y FDD para anchos de banda de canal de 5 MHz, 10 MHz y 20 MHz con prefijo cíclico $CP=1/8T_u$.

La duración del símbolo OFDM de 102.857 us y la longitud del prefijo cíclico de $1/8T_u$, la longitud de las sub-tramas tipo 1 y tipo 3 son 0.617 ms y 0.514 ms respectivamente. Otras combinaciones pueden resultar en diferentes números de sub-tramas por trama y símbolo con las sub-tramas. El TTG y RTG son 105.714 us y 60 us respectivamente

En FDD la estructura de una trama (números de sub-tramas, tipos de sub-tramas, entre otros) es idéntica para el enlace de bajada y el enlace de subida, para una trama específica.

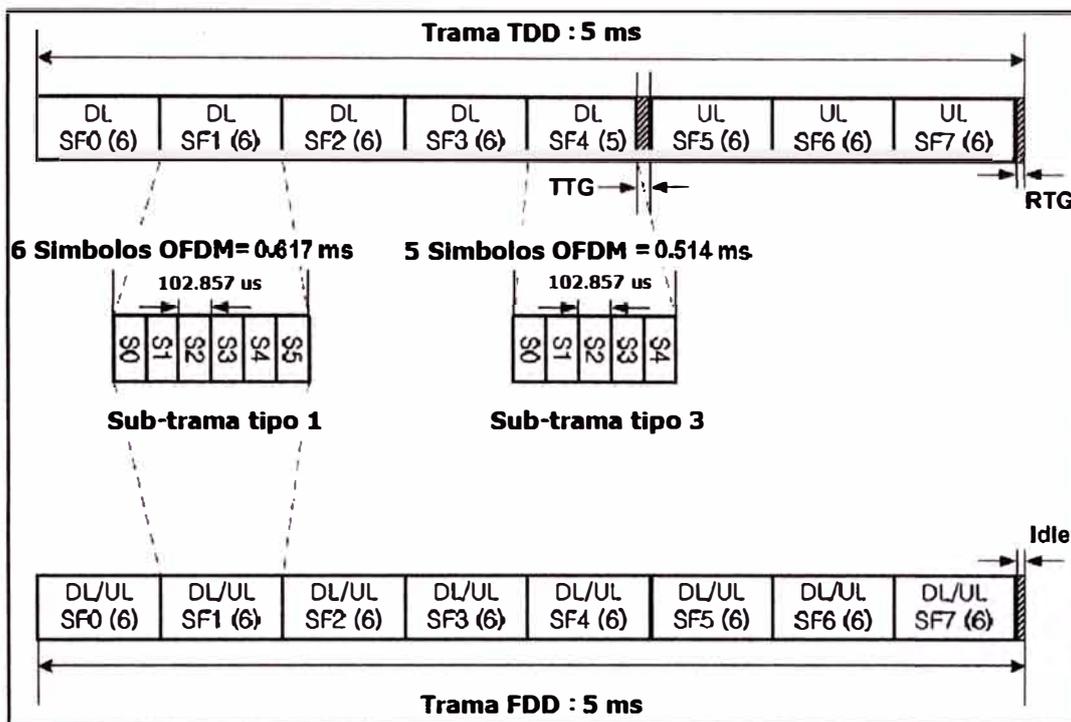


Fig. 2.30: Estructura de trama TDD y FDD con CP=1/8Tu (la relación DL:UL es 5:3).

La Figura 2.31 muestra la coexistencia con la estructura de trama LTE-TDD como se puede apreciar esta coexistencia representa la interoperabilidad de redes WiMAX y LTE, asimismo vemos que esta superpuesta por el lado de la trama LTE - TDD, sin embargo queda esperar que el WiMAX Forum se pronuncie respecto a la coexistencia por el lado de LTE – FDD.

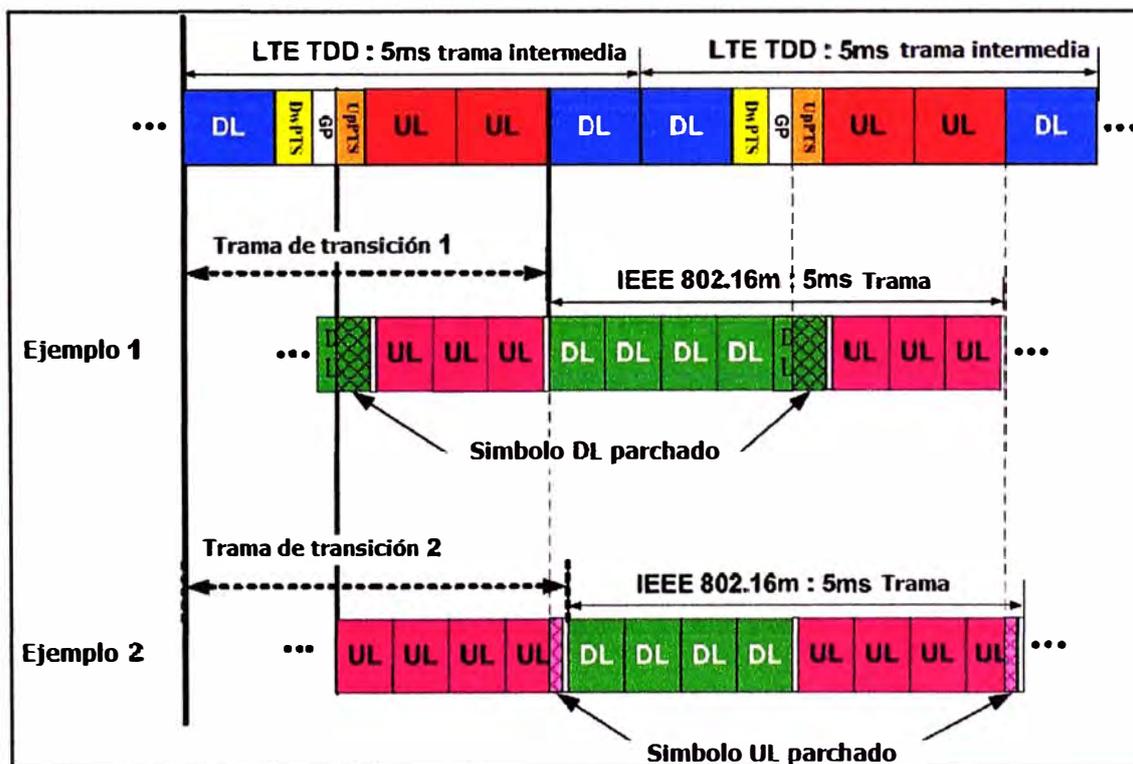


Fig. 2.31: Coexistencia WiMAX LTE-TDD

2.3 Modos de Duplexación [19]

2.3.1 Duplexación por división de frecuencia – FDD

Los esquemas de duplexación de acceso al espectro ofrecen una forma para administrar los flujos de tráfico subida y bajada. En FDD, estos flujos ocurren sobre dos canales de frecuencia, el enlace de subida y el enlace de bajada.

En sistemas FDD, los canales se dividen igualmente entre enlaces de subida y enlaces de bajada. Estos se acoplan en pares, cada uno de los cuales tiene la misma separación de frecuencia. La Figura 2.32 muestra un plan de frecuencias FDD para asignaciones de espectro contiguas (arriba) y no contiguas (abajo) (los pares de canales enlace de bajada (d) y enlace de subida (u) tienen un offset constante de frecuencia).

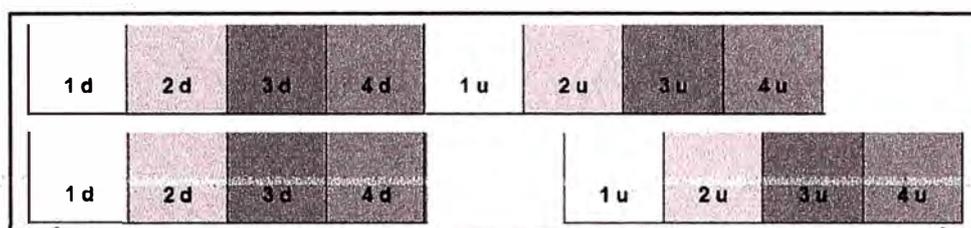


Fig. 2.32: Plan de frecuencias FDD para asignaciones contiguas y no contiguas.

En un sistema FDD, la asignación de recursos sobre el enlace de subida y el enlace de bajada es independiente. Por ejemplo, durante el mismo período de tiempo, la asignación instantánea para un sitio específico podría ser del 75% del ancho de banda del enlace de subida (esto es, divisiones de tiempo), mientras que en el enlace de bajada podría ser de tan sólo el 10%.

Adicionalmente, los pares de canales FDD son independientes. Por ejemplo, el par 1 de canales (1d y 1u) es independiente del par 2 (2d y 2u) de canales en términos de asignaciones y sincronización.

2.3.2 Duplexación por división de tiempo – TDD

En TDD, el tráfico enlace de subida y enlace de bajada se transmite sobre el mismo canal. La misma asignación de espectro discutida más arriba para FDD se muestra más abajo en la Figura 2.33, pero incluye un plan de canales para TDD. Nótese que el valor total de ancho de banda consumida entre TDD y FDD es el mismo.

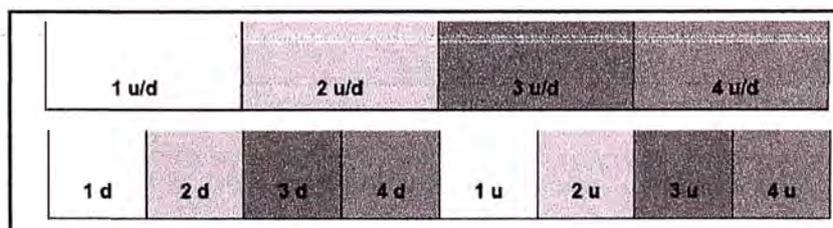


Fig. 2.33: plan de frecuencias TDD y su plan FDD correspondiente.

De igual forma que FDD, TDD puede asignar recursos en forma flexible para responder a las necesidades en dos direcciones.

2.3.3 Canales de guarda y tiempo de guarda

En cualquier sistema de radio en el cual el espectro se divide en canales, existen límites entre canales adyacentes. Estos límites se llaman "canales de guarda"; la Figura 2.34 muestra ejemplos para un sistema FDD y para un sistema TDD. Estos sistemas se muestran como asignaciones totales de ancho de banda similares por canal dúplex.



Fig. 2.34: Canales de guarda y anchos de banda de canal para sistemas FDD y TDD.

La importancia de los canales de guarda no es que simplemente existan, como lo hacen por definición, sino la forma estrecha en que puede espaciarse la energía de espectro entre canales adyacentes antes de presentarse interferencia entre canales. El espaciamiento es una función de diversos factores, incluyendo el espectro de canales generado en el módem, la precisión de los diversos filtros, la estabilidad de fase en las etapas de conversión, y la linealidad de los amplificadores. Estos factores juegan un papel importante en todos los sistemas punto multipunto, y especialmente en todos los sistemas de radio.

El ancho del canal de guarda es una función de diversos factores de diseño y de ingeniería. Cuando todo lo demás fuese igual, para un espaciamiento dado de canal, el sistema con el canal de guarda más estrecho tendrá un mayor rendimiento. En TDD, debe concederse un tiempo adicional para permitir el cambio entre modo transmisión y modo recepción, llamado tiempo de rotación de canal. El tiempo de rotación tiene dos componentes: el primero es el cambio actual entre las funciones de transmisión y de recepción. Esto ocurre rápidamente, no obstante, en relación con el segundo componente, que representa el retardo de propagación. La penalización resultante del retardo de propagación en sistemas TDD se presenta debido a que los sitios deben siempre responder por el retardo cuando están transmitiendo, pero enfrentan la paradoja de que nunca pueden transmitir y recibir simultáneamente. Tener que transmitir "por adelantado" pero recibir "retrasadamente" es un impedimento que sólo puede obviarse añadiendo un colchón adicional de tiempo, que representa una penalización sobre la capacidad del sistema y la eficiencia espectral. Vemos también que el tema del retardo de propagación tiene un impacto adicional sobre la interferencia intra-sistema en TDD.

La Figura 2.35 presenta dos sistemas con diferentes canales de guarda. Si el ancho de banda de la energía espectral principal es la misma en ambos casos, entonces el

sistema de la izquierda, con el canal de guarda más estrecho, tendría un menor espaciamiento de canal que el de la derecha, todo demás siendo igual. En la práctica, el espaciamiento de canal podría ser el mismo (el espectro de la derecha tendría que acercarse hacia el otro) pero el sistema de la izquierda, con el canal de guarda más estrecho, tendría un mayor rendimiento debido a que tendría una menor interferencia de canal adyacente.

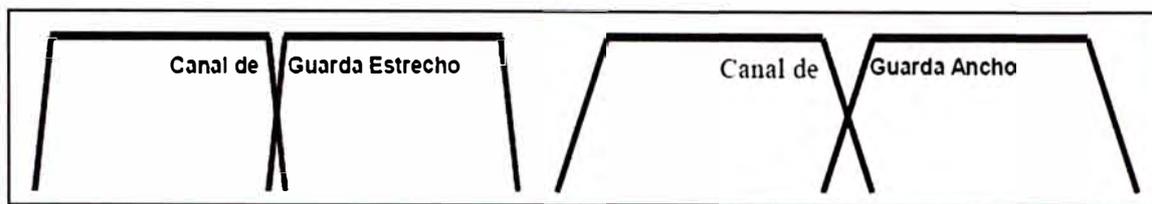


Fig. 2.35: Canales de guarda estrechos y amplios.

2.3.4 Eficiencia espectral

La eficiencia espectral es una medida de la capacidad general de carga a través del espectro asignado. Se ve afectada por factores tales como el canal de guarda, el tiempo guarda, la carga de administración de enlace, y los bits de codificación. En el lado práctico, los perfiles de tráfico para la base de clientes deben también tenerse en cuenta. Una discusión o una comparación de la eficiencia espectral deben asumir que los factores de enlace, tales como el ancho de banda de canal, la modulación, la potencia de transmisión, y la ganancia de antena, son constantes. Esto último es una buena suposición al comparar sistemas PMP FDD y TDD.

Haciendo una comparación de sistemas FDD y TDD utilizando el mismo ancho de banda (por ejemplo un par de canales FDD de 12.5 MHz y un canal TDD de 25 MHz), el tiempo de guarda adicional y la administración requeridos por TDD resultarán en una ventaja aproximada del 10% para FDD. Es decir si cada canal de 12.5 MHz maneja 45 Mbps de tráfico de usuario o 90 Mbps (45 Mbps full dúplex) en un par de canales de 12.5 MHz. Esto representa una eficiencia espectral de 3.6 bits de carga/Hz. Esta eficiencia espectral superior puede influir en la selección de sistemas FDD sobre TDD.

Debido a que el perfil de tráfico es un factor práctico relacionado con la eficiencia, el tráfico altamente asimétrico manejado sobre un canal muy estrecho sería una ventaja para TDD. El tráfico comercial, no obstante, es altamente simétrico, especialmente cuando se promedia en varios sitios como ocurre con sistemas punto multipunto. Esta es otra de las razones por las cuales la selección de FDD sobre TDD pueda considerarse.

Las razones expuestas en los párrafos precedentes, representan parámetros técnicos que pueden influir en la canalización de la banda de 700 MHz. En contraposición, podemos hallar razones como la neutralidad tecnológica y la armonización de espectro para tener en cuenta los sistemas FDD y TDD.

La planeación promueve un uso más eficiente de la banda, previene la fragmentación, reduce el riesgo de interferencia, genera certidumbre, valoriza más el espectro y reduce los costos de acceso, diversas tecnologías pueden funcionar tanto en FDD como en TDD. Así tenemos que en una misma banda:

- Una disposición de subdivisiones apareadas puede acomodar FDD;
- Una disposición de subdivisiones no apareadas pueden acomodar TDD;
- Tanto con FDD como con TDD un régimen de neutralidad tecnológica de reglamentación puede ser adoptado ya que todas las tecnologías pueden funcionar en FDD o TDD en la sub-banda respectiva separada;
- Sólo el espectro armonizado ofrece neutralidad tecnológica.
Para el caso de las dos tecnologías, LTE y WIMAX
- LTE: los sistemas de infraestructura incluyen igualmente regímenes de acceso FDD y TDD en la misma red.
- LTE: el mismo terminal puede incluir regímenes FDD y TDD.
- LTE (ambos FDD y TDD) así como WIMAX (ambos FDD y TDD) pueden ser mezclados en bandas de frecuencia armonizadas mientras que apoyan los despliegues de acceso FDD y TDD en sub-bandas separadas.

2.4 Planteamiento de los problemas presentados en el Aspecto de Ingeniería

2.4.1 Elección de la tecnología a emplear

Se ha revisado las dos tecnologías previstas para la evolución hacia la cuarta generación móvil. La situación actual es muy semejante a la que se dio en su momento, cuando se tenían las tecnologías CDMA y GSM.

2.4.2 Ancho de los bloques de frecuencia

Los anchos de los bloques de espectro determinan en última instancia la cantidad de aplicaciones y/o capacidad de transmisión que pueden ajustarse en una banda dada. En la banda de 700 MHz, dichos bloques de espectro deben reflejar la nueva tecnología que se basa en OFDM y en lo posible IMS, para lo cual un ancho angosto del bloque, se reflejaría en una disminución de la cantidad de sub-portadoras OFDM que pueden implementarse, por ello el ancho del bloque de la banda de 700 MHz debe ser de al menos 5 MHz.

2.4.3 Tipo de duplexación

Técnicamente es posible incluir modos de duplexación FDD y TDD para los bloques de la banda de 700 MHz.

Sin embargo, la posición de los enlaces de bajada y subida podrían brindar una forma de ahorrar espectro. De otro lado, la coexistencia de WiMAX y LTE desde el lado de WiMAX, se da en el tipo de duplexación TDD.

2.4.4 Desarrollo de equipamiento [20]

En un terminal de usuario el bloque frontal ofrece un camino para las señales de RF hacia y desde el terminal de usuario, para ello algunos componentes de este bloque deben ser analógicos sobre todo en la interface del aire y terminal. De otro lado el procesamiento de banda base que se hace de modo digital para codificar y decodificar las señales de RF en los chips de banda base. Es decir los componentes de antena, banda base y bloque frontal se encuentran estrechamente relacionados.

Como ya sabemos el sistema de antenas del que se vale la nueva generación móvil (MIMO) requiere que múltiples rutas de acceso de radio sean soportadas por bandas espaciadas de espectro. En la práctica se debe implementar nuevos elementos de antenas y bloque frontal.

Como aproximación, se necesita un mínimo de separación entre antenas de una longitud de onda de 0.15 para permitir que un dispositivo móvil alcance su objetivo de niveles de desempeño. En el caso de los 700 MHz, esto significaría una separación física de aproximadamente 2,5 pulgadas entre las antenas. Cuando se considera la banda de 1900 MHz, esto se traduciría en aproximadamente 1 pulgada. Claramente, hay una diferencia importante entre estos requerimientos de separación al considerar el soporte para las distintas bandas de espectro y el consiguiente impacto en el tamaño del dispositivo.

2.5 Planteamiento de los problemas presentados en el Aspecto regulatorio

2.5.1 Apagón analógico vs banda ancha móvil en la banda de 700 MHz

En este aspecto se debe contemplar la posibilidad de esperar el apagón analógico para la implementación de servicios móviles en la banda ancha de 700 MHz, o utilizar la banda de 700 MHz para la implementación de la cuarta generación móvil.

2.5.2 Levantamiento de los topes de espectro de los operadores en Perú

En el Perú ya se está trabajando respecto al levantamiento de los topes de espectro de los operadores actuales, a fin de que estos puedan participar y eventualmente adjudicar una banda en donde puedan implementar los servicios móviles.

CAPÍTULO III METODOLOGIA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se verán los métodos de solución para los temas tratados en el capítulo anterior tales como: 1) Anchos de los bloques de frecuencia; 2) Tipo de duplexación; 3) Desarrollo de terminales; 4) Aspecto regulatorio; 5) Apagón analógico vs banda ancha móvil en la banda de 700 MHz.

3.1 Aspecto de ingeniería del problema

3.1.1 LTE o WiMAX

Muy probablemente ambas (Wimax Móvil y LTE) convivirán pero en diferentes bandas. La llegada de las redes de 4G (cuarta generación) está sucediendo a un ritmo cada vez más acelerado. Si bien ambas están basadas en la misma tecnología de acceso de radio, conocida como OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal), cabe recordar que la tecnología Wimax Móvil hoy se ofrece comercialmente en la banda de 2,5 GHz. mientras que LTE está ya se ofrece en la banda de de 700 MHz en Estados Unidos. En cualquier caso, es fundamental para el operador definir la estrategia de negocios. Para el nuevo operador, el primer paso será verificar cuál tecnología le permitirá implantar los servicios de telecomunicaciones a un costo menor. Luego, será preciso saber si ese servicio llegará al consumidor final de manera accesible (costo de servicios y de terminales de acceso). No sirve a largo plazo utilizar una tecnología en la que el usuario final enfrente costos altos de terminales de acceso (aparatos y módems) sin un retorno proporcional para el inversionista u operador.

De otro lado, LTE se presenta como una evolución natural de las redes GSM que ocupan más del 50% a nivel mundial, operando en bandas cercanas a la 700 MHz lo cual ofrecería una ventaja en el futuro para gestionar espectro adyacente con la misma tecnología y con ello habría e beneficio de la economía de escala.

Asimismo, la experiencia de WiMAX en tecnologías móviles es reciente, mientras las redes GSM ya gozan de esta experiencia. Es decir que las redes GSM ya tienen entre operadores que ya han desplegado este tipo de redes móviles y además ya existe un compromiso para el despliegue de LTE.

Según el reporte N° APT/AWF/REP-15, de la Telecomunidad Asia Pacifico – APT, se puede apreciar que la mayoría de los países miembros utilizan WiMAX TDD en la banda de 2300 – 2500 MHz y 3400 – 3600 MHz. La Figura 3.1 muestra los compromisos de los

operadores para desplegar redes LTE. En tal sentido, para la banda de 700 MHz es muy probable que se utilice LTE.



Fig. 3.1: Compromisos de los operadores para desplegar redes LTE.

3.1.2 Anchos de los bloques de frecuencia

Los bloques de espectro más amplios maximizan el uso del espectro al aceptar más bits y permitir que se reúnan más recursos para compartir entre usuarios. Las atribuciones de espectro, por ende, deben estar en bloques contiguos lo suficientemente grandes como para responder al futuro desarrollo de redes de banda ancha móvil. En particular en zonas urbanas y suburbanas.

Una de las principales razones por las cuales OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) fue seleccionada como la técnica de multiplexado para LTE se relaciona con su capacidad de aumentar sustancialmente la eficiencia espectral cuando la señal de RF transmitida está compuesta por un número relativamente grande de sub-portadoras ortogonales. Esto último requiere una cantidad relativamente grande de espectro contiguo. El aumento resultante de la eficiencia espectral está en la naturaleza de una ganancia estadística, también conocida como la eficiencia troncal o de distribución. La eficiencia troncal se incrementa a medida que se programan datos para diversos usuarios ('multiplexados') para transmisión por grandes números de sub-portadoras, y su magnitud es así determinada por dos factores: la robustez de los algoritmos de programación de la red, y la cantidad de espectro que ocupa la señal de RF. Desde el punto de vista operativo, las tecnologías basadas en OFDM como LTE pueden exhibir un aumento significativo en la eficiencia espectral si el espectro ocupado es de al menos 10 MHz (o 5+5 MHz si se lo considera por pares).

Con respecto a las canalizaciones y propuestas para la banda de 700 MHz mostradas en el punto 1.6 del capítulo 1 se puede realizar el siguiente ejercicio mostrado en la Figura 3.2, el cual superpone dichas canalizaciones.



Fig. 3.2: Superposición de las canalizaciones.

Vemos que los arreglos de 3GPP y UIT-A4 así como la porción canalizada por WiMAX Forum, ofrecen una disponibilidad de duplexación similar a la de Estados Unidos.

Al respecto, debo señalar que este arreglo de frecuencias tiene algunos problemas y desventajas debido a que:

- Fragmenta 4 porciones de 1 MHz y según lo estimado por 3GPP, el mínimo de espectro requerido para desplegar LTE con una buena calidad es de 1.4 MHz, por lo que se estaría desperdiciando 4 MHz de espectro.
- La necesidad de establecer una banda de seguridad pública no es requerida en el Perú, donde ya se está desplegando redes en la banda de 380 – 400 MHz.
- No ofrece una banda de guarda en el límite bajo, donde las interferencias a los equipos de usuarios provenientes de las estaciones de radiodifusión son inminentes.
- Es requerido una banda de guarda para la coexistencia entre duplexaciones TDD y FDD.
- No ofrece una banda de guarda en el límite superior.

3.1.3 Tipo de duplexación

Al respecto, desde el punto de vista técnico ambos tipos podrían implementarse, sin embargo también se debe mencionar la intención de China para la implementación de TD-LTE.

En el caso de una configuración mixta TDD y FDD, existen posibilidades de interferencia entre usuarios y estaciones base. Por lo que, se requiere de una banda de guarda implícita. La Figura 3.3 muestra este posible caso.

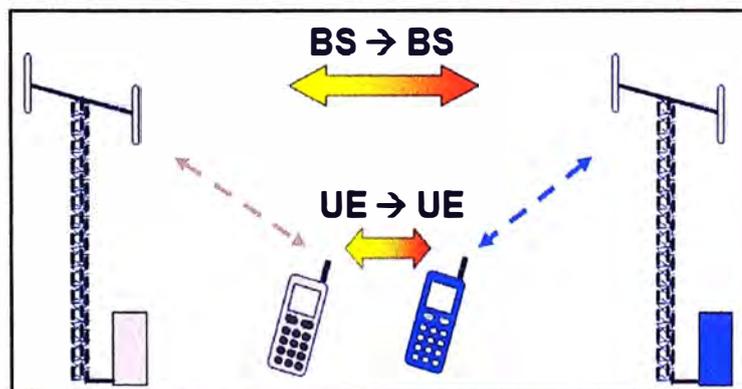


Fig. 3.3: Posibles interferencias en TDD.

La Tabla 3.1 muestra los operadores móviles en China que conforma la tercera parte de la población mundial, así como el rango de frecuencia asignado y su tipo de duplexación.

Tabla 3.1: Operadores móviles en China.

Operador	Banda de Frecuencias (MHz)		Tecnología	Duración de Licencia
	Uplink	Downlink		
China Telecom	825-835	870-880	CDMA 800(3G)	Expiración: 2018.12.31
	1920-1935	2110-2125	CDMA2000	Expiración: 2018.12.31
China Mobile	890 – 909	935 – 954	GSM900	
	1710-1735	1805-1830	GSM1800	
	1880 – 1900(TDD)		TD-SCDMA	Expiración: 2018.12.31
	2010 – 2025(TDD)		TD-SCDMA	Expiración: 2018.12.31
	2320 – 2370 (TDD)		TD-SCDMA	Expiración: 2018.12.31
China Unicom	909-915	954-960	GSM900	
	1735-1755	1830-1850	GSM1800	
	1940-1955	2130-2145	WCDMA	Expiración: 2018.12.31

3.1.4 Desarrollo de terminales

Al considerar bandas de frecuencia y sus combinaciones, los fabricantes de dispositivos a menudo categorizan las bandas en términos de designaciones de "bandas altas" o de "bandas bajas". Las bandas altas son las bandas de frecuencia por encima de 1 GHz (por ejemplo, 1700, 1900, 2100, y 2600 MHz); las bandas bajas son las bandas de frecuencia inferiores a 1 GHz (ejemplos: 700, 850, y 900 MHz). Las bandas más altas generalmente son más sencillas de implementar en un dispositivo en cuanto a su tamaño, ya que las bandas de frecuencias más altas requieren una antena más corta. Las bandas bajas requieren antenas más largas para un desempeño óptimo. En dispositivos de 3G y 4G con soporte multibanda, la cantidad de bandas altas a las que se da soporte siempre supera la cantidad de bandas bajas.

Al respecto, se pueden apreciar las siguientes noticias actuales concernientes a los nuevos terminales de usuario para la banda de 700 MHz.

❖ Reporte de la Asociación Mundial de Suministradores (GSA) [21]

Específicamente en el caso de los desarrollos disponibles en terminales de usuario, el informe del 28 de octubre de 2011 de GSA (Global Mobile Suppliers Association) reporta la existencia de 106 clases de dispositivos que operan en la banda de 700 MHz. atendiendo el esquema de canalización definido en las especificaciones de 3GPP que corresponden a la establecida para Estados Unidos.

❖ **Banda utilizada para la seguridad pública en Estados Unidos de América (763-775, 793-805 MHz) [22]**

Motorola Solutions completó la primera de tres etapas de pruebas requeridas por el Gobierno de Estados Unidos para participar en la Red Nacional de Banda Ancha para Seguridad Pública. En noviembre pasado, Motorola Solutions había anunciado su primer lanzamiento comercial de tecnología Long-Term Evolution (LTE) para Seguridad Pública. Las soluciones de comunicación basadas en LTE permitirán aplicaciones y capacidades multimedia como video en tiempo real, colaboración táctica y mapeo y enrutamiento dinámico sobre una red móvil de banda ancha real.

Motorola Solutions es uno de los primeros fabricantes de equipamiento superar la primera instancia de evaluación contemplada por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). La primera fase de la Prueba de Funcionalidad Básica de LTE para Seguridad Pública, contemplada en el Programa de Investigación en Comunicaciones de Seguridad Pública (PSCR), evalúa funcionalidades básicas, como el desempeño y la cobertura ofrecida por los equipos de comunicaciones.

La participación en el programa PSCR es una exigencia de la FCC para los fabricantes que desarrollan equipos para la creación de una Red Nacional de Banda Ancha para Seguridad Pública en el espectro de 700 MHz. Las pruebas fueron realizadas en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (National Institute of Standards and Technology, NIST) en Boulder, Colorado (Estados Unidos). Motorola Solutions espera completar la segunda fase de pruebas en el tercer trimestre de este año.

❖ **Lanzamiento de la nueva tableta Apple, iPad 3 [23]**

De acuerdo al Wall Street Journal, Apple lanzará a principios del próximo mes (16 de marzo de 2012) la nueva versión de su popular tableta electrónica, el iPad 3, que contará por primera vez con una conexión inalámbrica de datos LTE (Long Term Evolution). Verizon (746 – 757 MHz y 776 – 787 MHz) y AT&T (704 – 716 MHz y 734 – 746 MHz), las dos mayores operadoras de telefonía móvil de Estados Unidos, son las únicas que podrían ofrecer por ahora el popular dispositivo de Apple.

La inminente llegada al mercado del iPad 3 ha impulsado la cotización de las acciones de Apple, y este lunes consiguieron por primera vez en la historia superar la simbólica barrera de los 500 dólares. El lanzamiento de nuevos dispositivos LTE seguirá impulsando el crecimiento de las redes móviles de Verizon y AT&T o el despliegue de nuevas ciudades, que operan en la banda de 700 MHz.

Algunos dispositivos de RF en el nuevo iPad 3 son:

- Qualcomm RTR8600 multi-banda/modo RF para bandas 3G y 4GLTE.
- Modem Qualcomm MDM9600 – 3G y 4G inalámbrico.

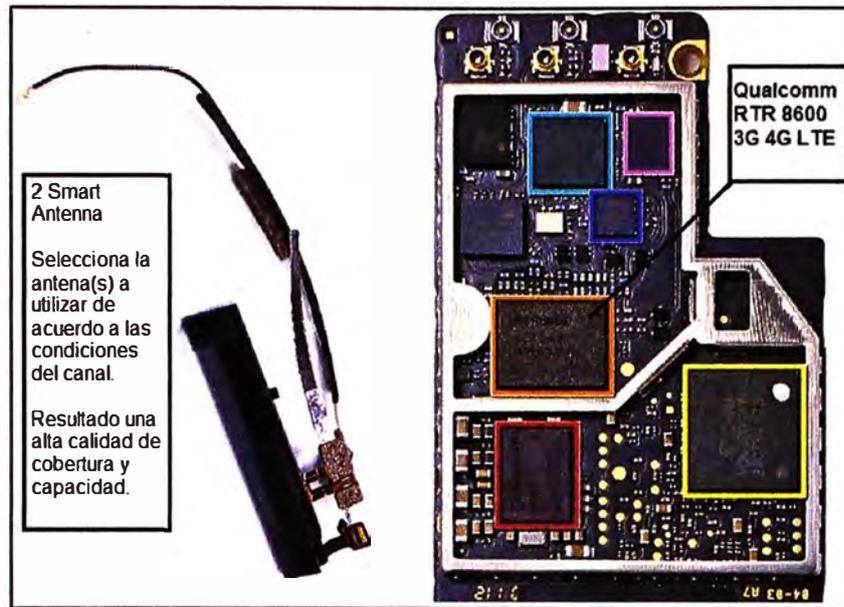


Fig. 3.4: Ipad 3 con modulo LTE

3.2 Aspecto regulatorio

3.2.1 Apagón analógico vs banda ancha móvil en la banda de 700 MHz [24]

Al respecto, de debe mencionar:

- En comparación, la inversión en aún más canales de transmisión de TV tendría un impacto económico menor y cada vez más marginal que si ese espectro se asignara para promover la Banda Ancha.
- La mayoría de los estudios al respecto hecho para distintas regiones y países del mundo coinciden en esa conclusión.
- Un ejercicio de simulación realizado por el Diego Avanzini y Roberto Muñoz de la Universidad Técnica Federico Santa María (2010), refleja el alto valor social que tendría una asignación de 108Hz para la BA, mostrado en la Figura 3.5.
- En promedio, el beneficio social que el dividendo digital generaría si fuera reasignado a servicios de telefonía móvil digital avanzada sería de US\$ 408,3 por persona.

Pais	Población (MM)	Var. Exc. Cons. (MM US\$)	Var. Bienestar (MM US\$)	Var. Bienestar per Capita (US\$ /cápita)	Valor MHz US\$/MHz-pop
Argentina	40,13	11943	24744	616.6	5.7
Brasil	191.48	11936	24862	129.8	1,2
Chile	16,98	3577	6883	405.4	3.8
Colombia	49.04	3320	6912	140,9	1.3
Ecuador	14,12	2404	5015	355,2	3.3
México	107.75	14338	29820	276.8	2.6
Perú	29,10	2799	5826	200,2	1,9
Uruguay	3,35	473	982	293,1	2.7
Venezuela	28,61	17343	35966	1257,1	11.6

Fig. 3.5: Valor social de reasignar la banda de 700 MHz.

Es posible movilizar a las 41 estaciones de televisión a otra banda de frecuencias utilizando los recursos que se pueden obtener de la licitación de la banda de 700 MHz para la banda ancha móvil.

En ese sentido, se puede mencionar que parte de lo recaudado en Estados Unidos con la subasta de la banda de 700 MHz, se utilizó para el financiamiento de decodificadores para la televisión digital.

En el Perú, se podría comprometer a los operadores que salgan beneficiados instalar una red de transporte de fibra óptica rural, financiar la migración de los radiodifusores que se encuentran en la banda de 700 MHz, financiar los decodificadores o (set top boxes) para el apagón analógico.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se analizará los temas como: 1) Elección de la propuesta de canalización y determinación de los tipos de duplexación; 2) Determinación de los anchos de los bloques de espectro; 3) Modulación adaptativa; 4) Calculo teórico de la velocidad de transmisión en el enlace de bajada; 5) Pruebas de campo realizadas en la banda de 700 MHz; 6) Ancho de los bloques propuestos para la banda de 700 MHz.

4.1 Elección de la propuesta de canalización y determinación de los tipos de duplexación

Para determinar el ancho de los canales, se deberá escoger de las propuestas y recomendaciones vistas en 1.6 y revisadas en 3.1.2, aquellas que ofrezcan mejor desempeño en los aspectos técnicos y económicos. En tal sentido, la propuesta FDD de la Telecomunidad Asia Pacifico APT, es la que ofrece la mejor alternativa desde el punto de vista técnico y económico.

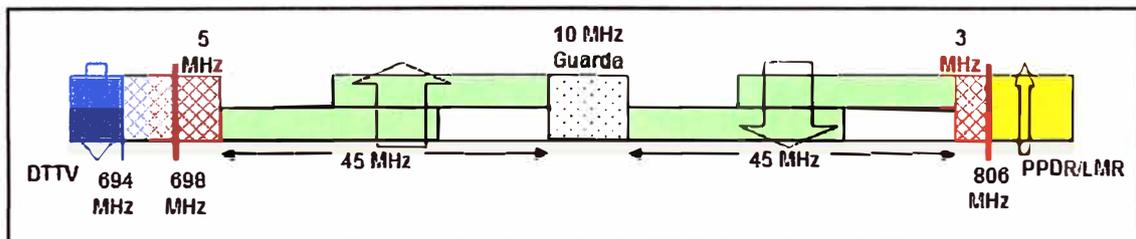


Fig. 4.1: Propuesta de canalización de la APT - FDD.

4.1.1 Aspecto técnico

Desde el punto de vista técnico se tiene las siguientes ventajas:

- Las frecuencias para el enlace ascendente se encuentran en la banda baja, por lo que representa un ahorro de energía en el equipo de usuario.
- No combina duplexaciones FDD y TDD, para lo cual se requeriría de una banda de guarda adicional.
- Ofrece una oportunidad de armonizar el espectro, dado que los bloques de 45 MHz se pueden subdividir en bloques menores y de esta manera ofrece la posibilidad de que diferentes países puedan tener diferentes tamaños de bloques menores que sean múltiplos de otros bloques, (por ejemplo: dos bloques de 5 MHz en el enlace de

subida para un país puede coincidir con 1 bloque de 10 MHz para otro país), de esta forma el equipamiento utilizado sufre menos complejidad, al tener bloques contiguos.

Desventajas:

- El equipamiento se espera para fines del 2012.

4.1.2 Aspecto Económico

- La Telecomunidad Asia Pacifico APT, tiene entre sus asociados a China e India que juntos representan los 2/3 de la población mundial, ello implica una ventaja en la economía de escala.
- Ofrece la posibilidad de establecer bloques menores contiguos y del mismo sentido dúplex, ello representa para los fabricantes de equipos una ventaja económica al no tener que fragmentar los anchos de banda en los equipos.

4.2 Determinación de los anchos de los bloques de espectro

Para determinar los anchos de bloques se analizará el cálculo teórico de la velocidad de transmisión, asimismo se revisará los casos de pruebas de campo efectuadas en LTE.

4.2.1 Modulación adaptativa

La modulación adaptativa utiliza la relación señal a ruido (SNR) del enlace, para establecer la información del estado del canal (Channel State Information, CSI) o también se le conoce como estimación del canal.

En tal sentido, cuando las condiciones del canal tienen alta calidad, se elije una modulación alta, por ejemplo 64QAM, dando al enlace una mayor capacidad. Según cambien las condiciones del canal (por ejemplo: efectos multitrayecto, entre otros) la transmisión cambia de tipo de modulación a un tipo de modulación inferior para mantener la conexión. La mejor ventaja que ofrece la modulación adaptativa es que determina cuando utilizar un tipo de modulación alta o baja en contraste con sistemas diseñados para el peor caso. La Figura 4.2 muestra como se elije el tipo de modulación de acuerdo a la relación señal a ruido (SNR) del canal, es así que al cambiar la relación señal a ruido SNR con la distancia a la base, cambia la modulación.

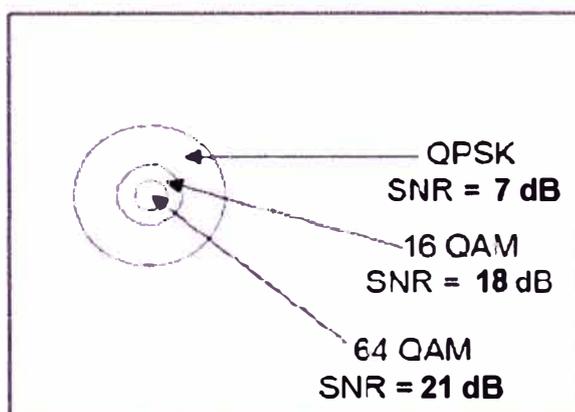


Fig. 4.2: Elección de modulación utilizando modulación adaptativa.

4.2.2 Cálculo teórico de la velocidad de transmisión en el enlace de bajada

Para calcular el valor teórico de la velocidad de transmisión se presentará primero la transformación de canales lógicos a físicos (Figura 4.3) siendo estos últimos los que en última instancia se transmiten en el medio físico.

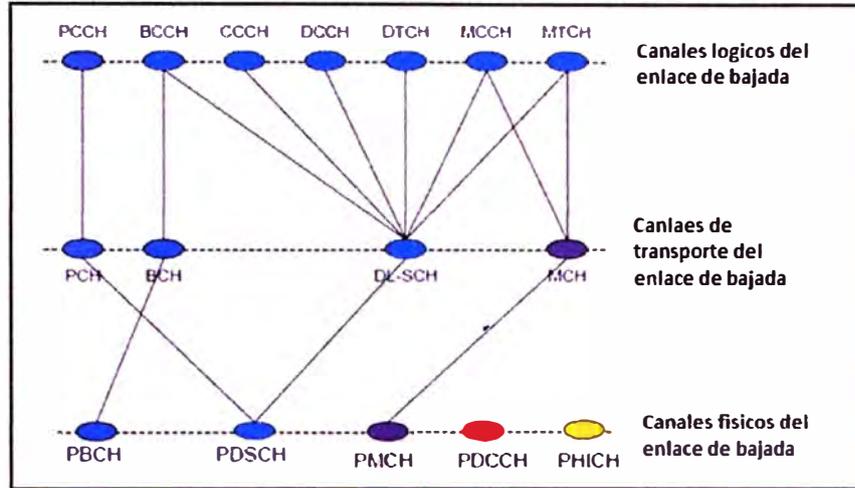


Fig. 4.3: Transformación de canales lógicos a físicos.

Un canal físico se refiere a una serie de recursos que transportan información proveniente de las capas superiores: control, asignación y la carga útil (payload) de los usuarios.

Una señal física es un conjunto de recursos usados por la capa física pero que no llevan ninguna información de las capas superiores.

Las señales físicas son generadas en la propia capa física y se usan para sincronización del sistema, identificación de las celdas y estimación de canal.

La Figura 4.4 muestra los canales de control y de datos son:

CANALES FÍSICOS DEL ENLACE DE BAJADA	
Canal Físico	Modulación
Canales de Control	
PCFICH	QPSK
PDCCH	QPSK
PHICH	BPSK
Canales de Datos	
PDSCH	QPSK, 16QAM, 64QAM
PBCH	QPSK
PMCH	QPSK, 16QAM, 64QAM

SEÑALES FÍSICAS EN EL DL Señales de Sincronización y de Referencia

- PSS: Primary Synchronization Signal
- SSS: Secondary Synchronization Signal
- RS: Reference Signal

Fig. 4.4: Canales de control y de datos en LTE.

Los canales de control son:

- PCFICH: indica el número de símbolos OFDM usados para el PDCCH.

- PDCCH: informa a los usuarios los recursos que le han sido asignados así como la modulación y codificación. El PDCCH se transmite por el mismo puerto de antena que se transmite el PBCH. El PDCCH, en tiempo, puede ocupar 1, 2 o 3 símbolos OFDM en el primer slot de cada sub-trama, dichos símbolos siempre serán el primero, el segundo o el tercero del primer slot; mientras que en frecuencia ocupa todo el ancho de banda disponible.
- PHICH: Lleva las respuestas ACK/NAK de ARQ híbrido. Usa modulación QPSK.

Estos canales de control son críticos y necesitan una alta disponibilidad, ya que si alguno de ellos se pierde o entra en error los usuarios no podrán conocer ni los recursos que le fueron asignados, ni la modulación y codificación. Es por ello que estos canales son transmitidos con una gran potencia de forma que lleguen a los usuarios que se encuentran en el borde de la celda. Igual sucede con la información enviada en los canales broadcast. De todos Los canales de control, el que introduce mas sobrecarga (overhead) es el canal PDCCH.

Los canales de datos son:

- PBCH: El PBCH está centrado alrededor de la sub-portadora DC, de manera que el usuario sabe de antemano donde está el PBCH sin importar el ancho de banda; se usan 72 sub-portadoras, es decir 6 RBs, para el PBCH. El PBCH representa muy poca sobrecarga (overhead) para el sistema, se puede detectar incluso en el borde de la celda, con baja latencia y muy poco impacto en la batería de los usuarios. El PBCH ocupa 14 bits y se repite cada 40 ms, así que su tasa de bits es de 350 bps.
- PMCH: Lleva datos de multicast.

De todos Los canales físicos de datos el más importante es el PDSCH, esto puede verificarse observando la transformación de canales lógico a canales físicos en la Figura XX en donde se observa que la mayoría de los canales lógicos concurren a fin de cuentas en el canal físico PDCCH.

a. Calculo de la sobrecarga (overhead) considerando solo el PDCCH

Como se mencionó en los párrafos precedentes el PDCCH ocupa en tiempo desde 1 símbolo OFDM hasta 3 símbolos OFDM, asimismo en frecuencia ocupa todo el ancho de banda que puede ser 1.4, 3, 5, 10, 15 ó 20 MHz, como se puede apreciar en la Figura 4.5. Sin embargo como se vio en la estructura de trama de LTE, todos los anchos de banda contienen un número entero de recursos de bloque RB.

El PDCCH se comunica con los usuarios cada 1ms, a fin de informarle cuales son los recursos que le han sido asignados, es decir le describe la estructura del PDSCH (el canal donde se encuentra la mayor data del usuario). El PDCCH se envía en los símbolos 0, 1 o 2 del primer slot de tiempo.

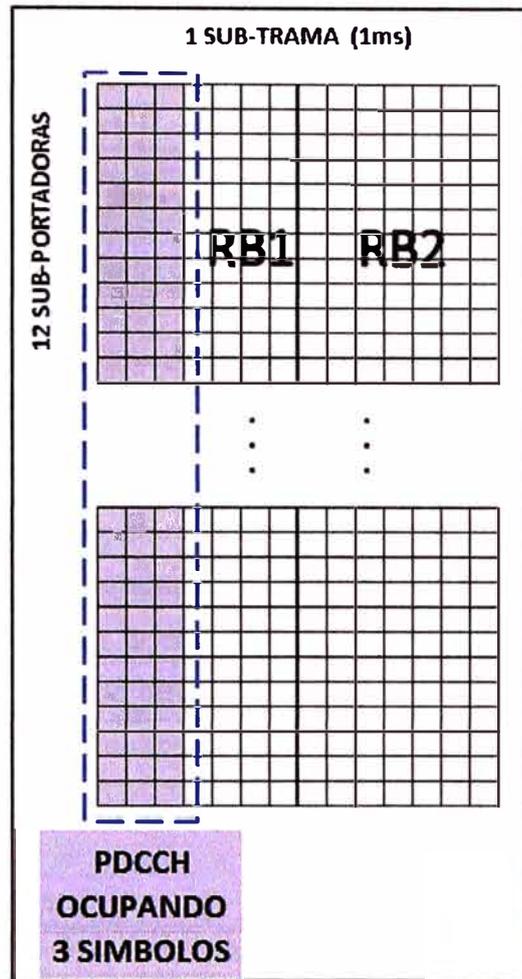


Fig. 4.5: Ubicación del PDCCH en la trama.

El PDCCH se comunica con los usuarios cada 1ms, a fin de informarle cuales recursos le han sido asignados, es decir le describe la estructura del PDSCH (donde se encuentra la mayor data).

El PDCCH se envía en los símbolos 1, 2 o 3 del primer slot de tiempo. Las señales de referencia R_s (R_1 , R_2 , R_3 y R_4) que corresponden a los puertos de antena 1, 2, 3 y 4 mostradas en la Figura 4.6 realizan la estimación del canal.

De lo expresado, a fin de simplificar el análisis del cálculo de la sobrecarga, debemos tener presente las siguientes consideraciones: una sub-trama contiene 2 recursos de bloque o 2 slots de tiempo ya que se puede reproducir esta sub-trama conforme se aumenta el ancho de banda, se analizará el caso FDD para el enlace de bajada con un prefijo cíclico normal, es decir cada slot contiene 7 símbolos OFDM, también, se debe mencionar que las señales de control PHICH y PCFICH no se consideran para el cálculo dado que se encuentran en la misma región del PDCCH considerado como símbolo 1, 2 o 3 del primer slot, sin embargo las señales de sincronía, transmisión discontinua (DTX) y otras que se encuentran en la región de datos y no han sido consideradas, empero estas señales llegan aproximadamente a solo el 1% del PDSCH.

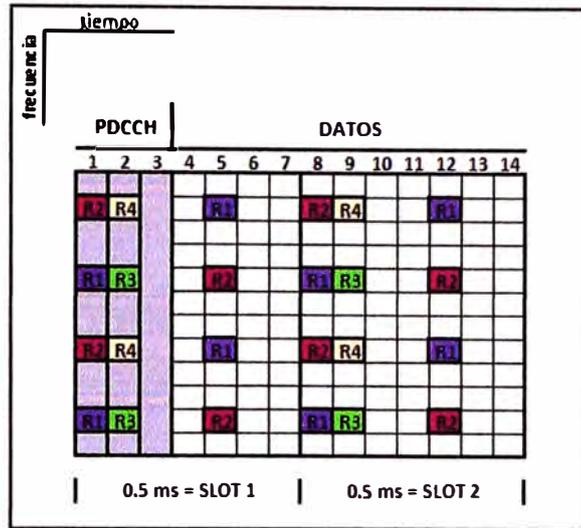


Fig. 4.6: Señales de referencia en la sub-trama.

En el análisis se contabiliza la cantidad de recursos de elementos en la región de datos que ocupan las señales de referencias Rs y se calcula para cada caso overhead. La Figura 4.7 muestra el caso 1 cuando PDCCH ocupa 1 símbolo.

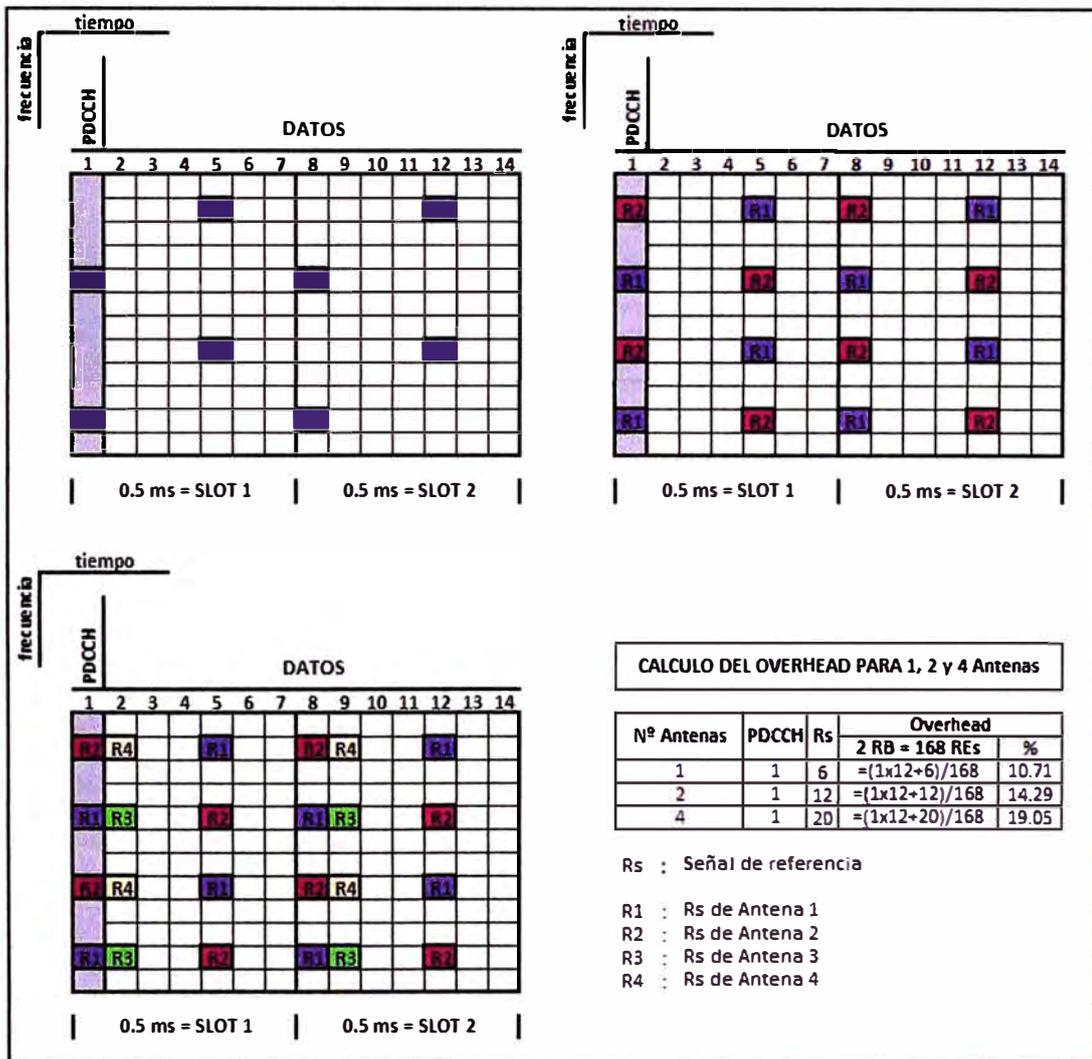


Fig. 4.7: Caso 1 cuando el PDCCH ocupa 1 símbolo.

La Figura 4.8 muestra el caso 2; cuando el PDCCH ocupa 2 símbolos OFDM. En el caso de 1 antena existen 6 señales de referencia, para el caso de 2 antenas existen 12 señales de referencia y para el caso de 4 antenas existen 16 señales de referencia.

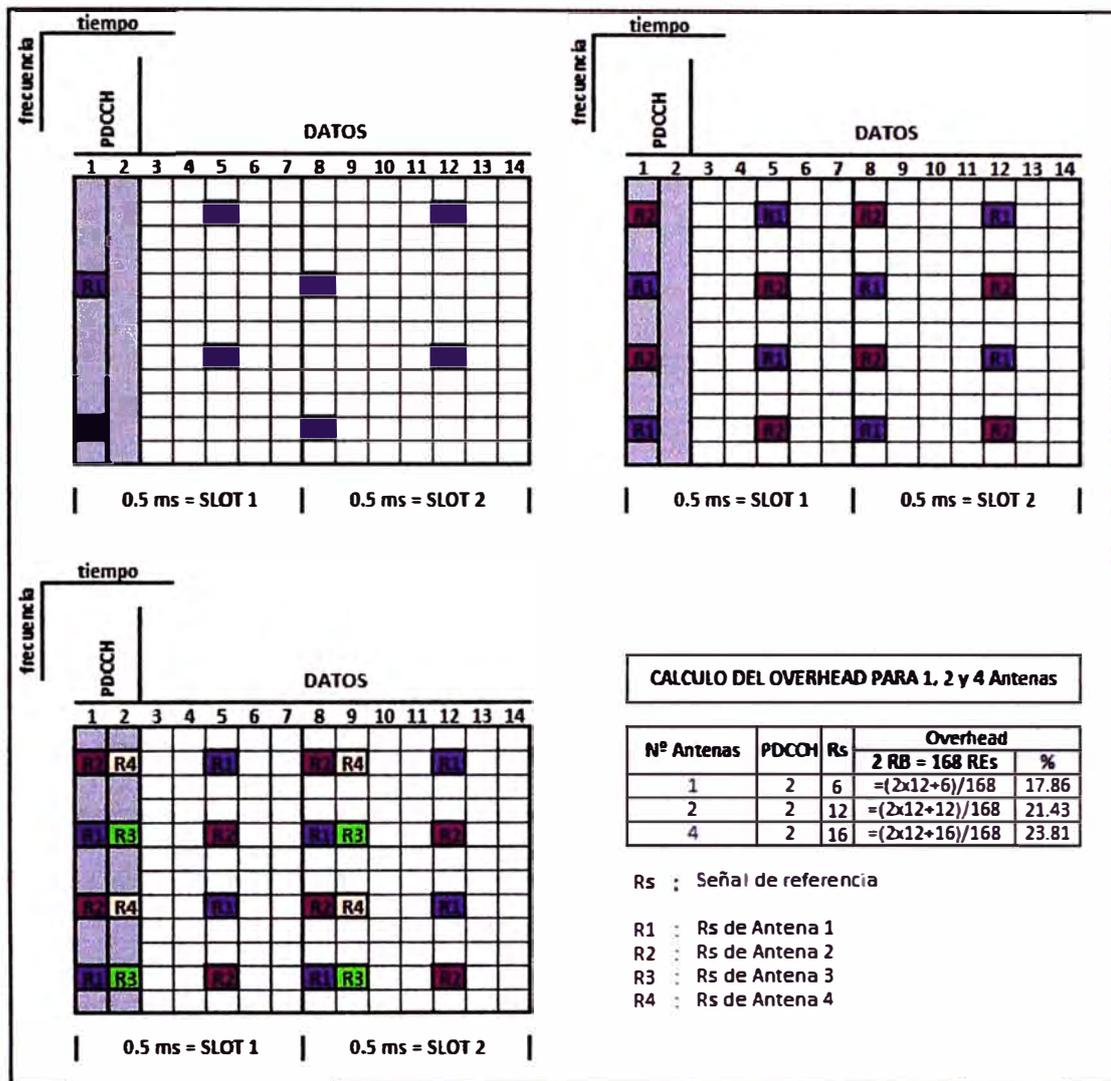


Fig. 4.8: Caso 2 cuando el PDCCH ocupa 2 símbolos.

Como se puede apreciar el overhead está aumentando, era de esperarse dado que el PDCCH está aumentando, y este canal se repite en cada sub-trama así como las señales de referencia, sin embargo las señales de sincronía aparecen en los símbolos 6 y 7 y después no se repiten.

Se debe precisar que con respecto al caso de 4 antenas, solo los equipos de usuarios (UE), de categoría 5 soportan MIMO de 4x4. Un ejemplo del cálculo de la velocidad de transmisión (V) se muestra en la Tabla 4.1, para modulación 64 QAM y con MIMO 4x4.

Tabla 4.1: Ejemplo de cálculo de la velocidad de transmisión.

Nº REs	Nº RBs / 20 MHz	T sub-trama (ms)	Nº bits 64 QAM	V Mbps	Overhead	V ₁ Mbps	MIMO	V ₂ Mbps
168	100	1	6	100.8	23.81%	76.79952	4	307.19808

La Figura 4.9 muestra el caso 3; cuando el PDCCH ocupa 3 símbolos OFDM. Se puede notar que la cantidad de señales de referencia R_s es idéntica que en el caso anterior, sin embargo el overhead difiere por que se ha considerado 1 símbolo adicional en el PDCCH.

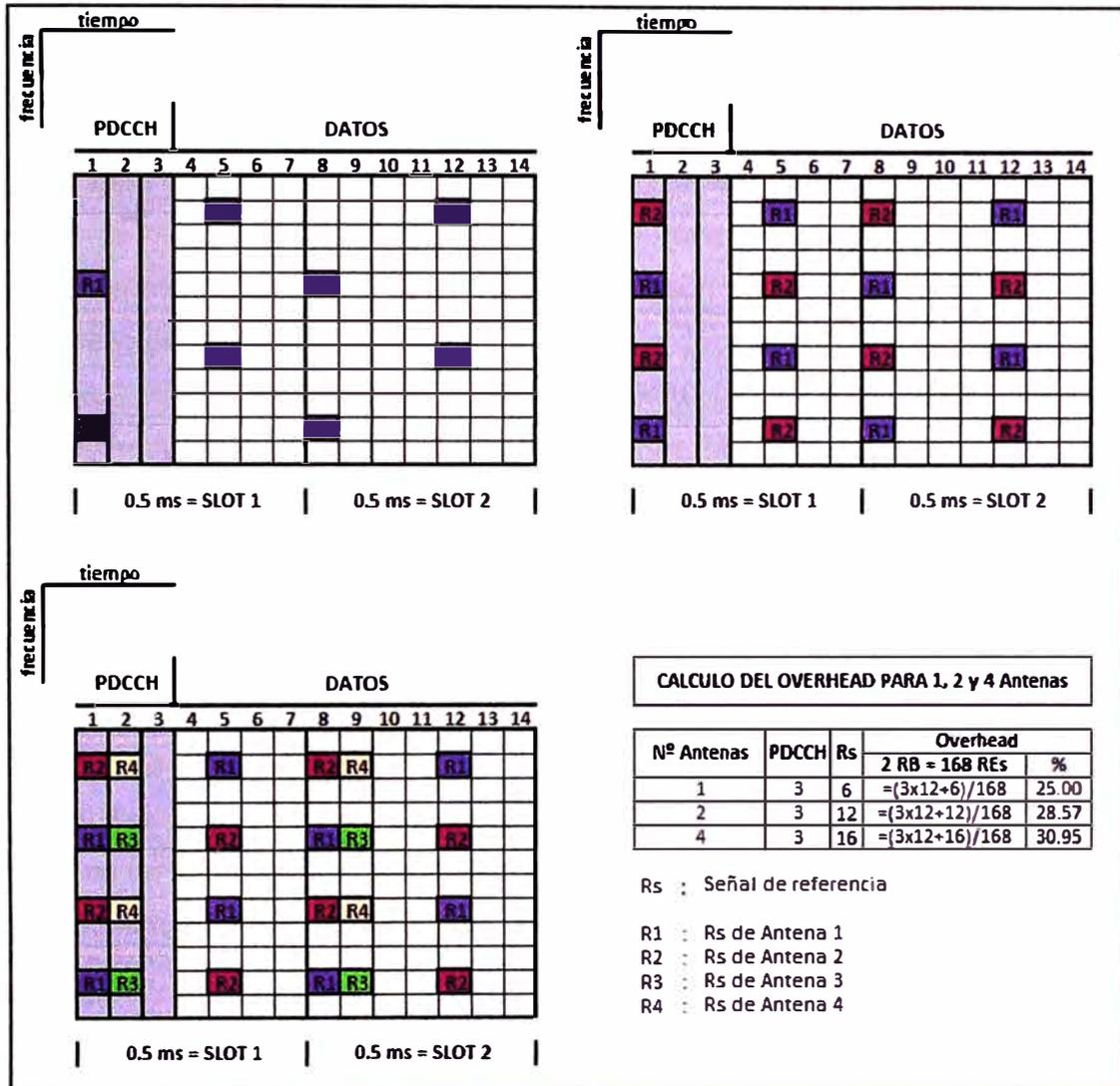


Fig. 4.10: Caso 3 cuando el PDCCH ocupa 3 símbolos.

b. Formación del bloque de transporte y la adición de redundancia CRC

En la Figura 4.11 se muestra un esquema general de la capa 2 del enlace de bajada,

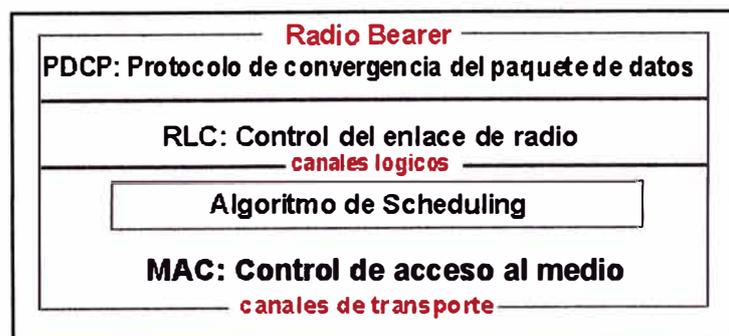


Fig. 4.11: Capa 2 en el enlace de bajada.

Un portador (bearer) es un flujo de paquetes IP el cual tiene asignado una serie de características, entre ellas la calidad de servicio (QoS). Existen varios tipos de bearer dependiendo de la parte de la red donde se definan. Aquellos que se establecen entre el usuario y el nodo B, se denominan "Radio Bearer". Los radio bearer vienen de las capas superiores, después de pasar por la subcapa PDCP y RLC son transportados usando los canales lógicos. Los canales lógicos son multiplexados en la subcapa MAC en canales de transporte.

En la capa RLC se forma el RLC PDU, el cual consiste en la carga y una cabecera, la cabecera permite la identificación de los PDUs para propósitos de retransmisión de paquetes errados a fin de garantizar que todos sean entregados libres de errores, tal como el caso de TCP.

Los RLC PDUs, son enviados a la subcapa MAC la cual toma un cierto número de ellos y los ensambla, luego les coloca la cabecera MAC para formar el MAC PDU o Bloque de Transporte (TB). Finalmente la capa física le agrega un CRC al TB para detección libre de errores, realiza la codificación, modulación y luego se transmiten al aire por medio de la antena.

El algoritmo de Scheduling es el que en última instancia decide el tamaño del RLC PDU, este tamaño se ajusta dinámicamente de acuerdo a la tasa de bits y los recursos disponibles. Se debe señalar que el algoritmo de scheduling no está definido por el 3GPP y se deja libre a los fabricantes, a pesar de que todos están basados en la calidad del enlace y en las políticas de calidad y servicio (Quality of Service QoS). En la Figura 4.12 se muestra la formación del bloque de transporte y del PDSCH.

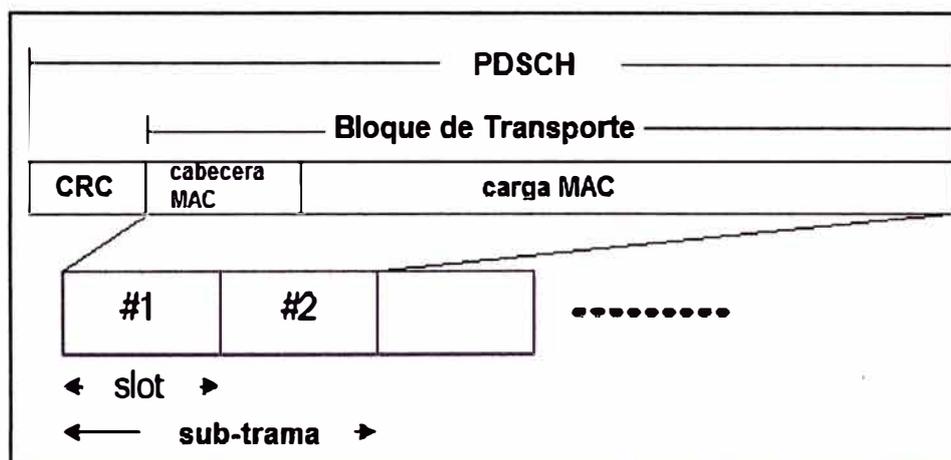


Fig. 4.12: Formación del bloque de transporte.

Hemos visto como se ha realizado el cálculo del overhead para ello solo hemos contabilizado una sub-trama, sin embargo, como sabemos al adicionar redundancia en la capa física fomenta la reducción de la velocidad de transmisión medida. El canal PDSCH usa una combinación de tasa 1/3 de códigos convolucionales que generan redundancia.

En general la cantidad de redundancia es grande cuando el equipo de usuario experimenta condiciones del canal deficientes y pequeña cuando el equipo de usuario experimenta condiciones del canal optimas.

La Figura 4.13 ilustra un ejemplo de enlace con estrategia de adaptación definida en la capa física con tasas de codificación como una función de las condiciones del canal y esquemas de modulación.

La tasa de codificación refleja la cantidad de redundancia adicionada por la capa física. Una tasa de codificación pequeña indica una gran cantidad de redundancia mientras que una tasa de codificación alta refleja una pequeña cantidad de redundancia. La tasa de codificación de 1 corresponde a no redundancia.

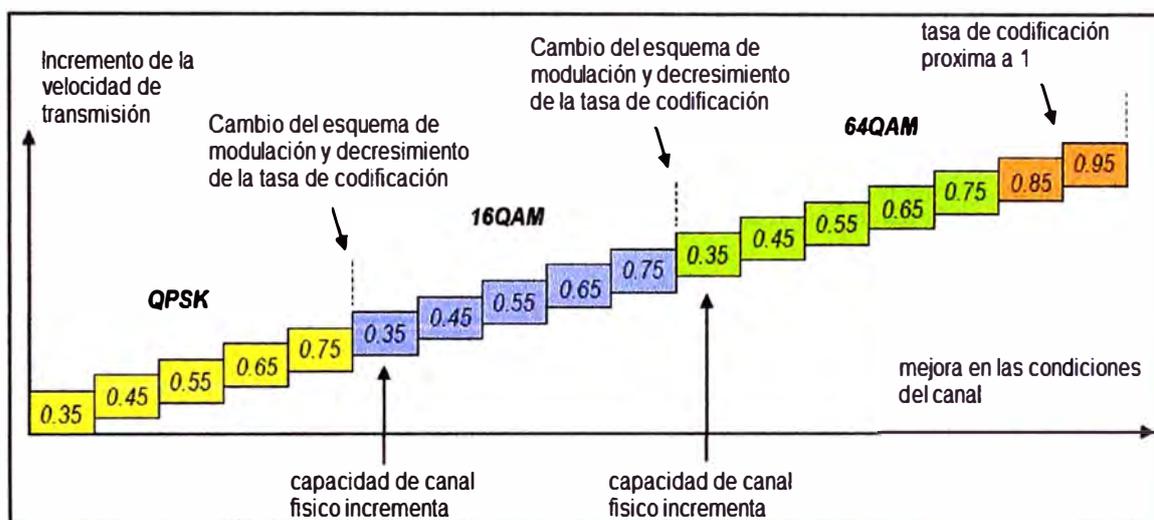


Fig. 4.13: La tasa de codificación como una función de las condiciones del canal. [25]

En este ejemplo, una vez que las condiciones del canal han mejorado lo suficiente hasta el incremento de la tasa de codificación de 0.75, se permite el cambio del esquema de modulación desde QPSK hasta 16QAM. El cambio del esquema de modulación incrementa la capacidad del canal físico de esta manera la cantidad de redundancia se incrementa. El bloque de transporte es de tamaño dinámico, y depende de la modulación utilizada, entonces para un esquema de modulación fijo el tamaño de dicho bloque se mantiene fijo, cuando las condiciones del canal mejoran se incrementa la tasa de codificación y eventualmente cambia a otro esquema de modulación más alto, entonces el tamaño del bloque transporte aumenta.

A continuación se muestra en la Tabla 4.2 el cambio que sufre la velocidad de transmisión pico, cuando se considera tanto el overhead como la tasa de codificación que da como resultado redundancia en el canal PDSCH que en última instancia es el que se transmite al usuario vía radiofrecuencia. Se ha considerado para efectos didácticos solo los casos de tasas de codificación 0.75 y 0.95, así como el overhead calculado para 1, 2 y 4 antenas cuando se utiliza 1, 2 o 3 símbolos para el PDCCH.

Tabla 4.2: Calculo de las velocidades de transmisión en LTE.

CALCULO DE VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN PICO, CON OVERHEAD y TASA DE CODIFICACIÓN															
Nº PDCCH	Modulación/MIMO	Nº bits x Modulación	Tasa de 1 Sub-Trama (kbps)	Ancho de Banda / Nº RBs											
				5 MHz			10 MHz			15 MHz			20 MHz		
				25			50			75			100		
				V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃
				(Mbps)			(Mbps)			(Mbps)			(Mbps)		
1 PDCCH	QPSK	2	168	8.4	7.5	5.6	16.8	15.0	11.3	25.2	22.5	16.9	33.6	30.0	22.5
	16QAM	4	168	16.8	15.0	11.3	33.6	30.0	22.5	50.4	45.0	33.8	67.2	60.0	45.0
	64QAM	6	168	25.2	22.5	16.9	50.4	45.0	33.8	75.6	67.5	50.6	100.8	90.0	67.5
	2x2 MIMO 64QAM	6	168	50.4	43.2	32.4	100.8	90.0	67.5	151.2	135.0	101.3	201.6	180.0	135.0
	4x4 MIMO 64QAM	6	168	100.8	86.4	64.8	201.6	180.0	135.0	302.4	270.0	202.5	403.2	360.0	270.0
2 PDCCH	QPSK	2	168	8.4	6.9	5.2	16.8	13.8	10.3	25.2	20.7	15.5	33.6	27.6	20.7
	16QAM	4	168	16.8	13.8	10.3	33.6	27.6	20.7	50.4	41.4	31.0	67.2	55.2	41.4
	64QAM	6	168	25.2	20.7	15.5	50.4	41.4	31.0	75.6	62.1	46.6	100.8	82.8	62.1
	2x2 MIMO 64QAM	6	168	50.4	41.4	31.0	100.8	82.8	62.1	151.2	124.2	93.1	201.6	165.6	124.2
	4x4 MIMO 64QAM	6	168	100.8	82.8	62.1	201.6	165.6	124.2	302.4	248.4	186.3	403.2	331.2	248.4
3 PDCCH	QPSK	2	168	8.4	6.3	4.7	16.8	12.6	9.5	25.2	18.9	14.2	33.6	25.2	18.9
	16QAM	4	168	16.8	12.6	9.5	33.6	25.2	18.9	50.4	37.8	28.4	67.2	50.4	37.8
	64QAM	6	168	25.2	18.9	14.2	50.4	37.8	28.4	75.6	56.7	42.5	100.8	75.6	56.7
	2x2 MIMO 64QAM	6	168	50.4	37.8	28.4	100.8	75.6	56.7	151.2	113.4	85.1	201.6	151.2	113.4
	4x4 MIMO 64QAM	6	168	100.8	75.6	56.7	201.6	151.2	113.4	302.4	226.8	170.1	403.2	302.4	226.8

V₁ : Velocidad de Transmisión Pico
V₂ : Velocidad de Transmisión considerando overhead calculado
V₃ : Velocidad de Transmisión considerando overhead y 0.75 de Tasa de Codificación

Se debe recordar que el caculo realizado corresponde cuando se utiliza el prefijo cíclico normal es decir 7 simbolos OFDM. De la revisión de la Tabla podemos observar que la menor velocidad de transmisión corresponde a 4.7 Mbps que se obtiene cuando se utiliza 3 simbolos para el PDCCH y 1 antena para modulación QPSK y un ancho de banda de 5 MHz. De otro lado, se observa que los valores de velocidades de transmisión pico se ven seriamente afectados por el overhead y la redundancia.

4.2.3 Pruebas de campo realizadas en la banda de 700 MHz [26]

El operador Australiano Optus, concluyó las pruebas realizadas de 4G LTE sobre la banda de 700 MHz, registrando velocidades de transmisión en el enlace de bajada de hasta 70 Mbps y de 32 Mbps en el enlace de subida utilizando distancias de transmisión hasta de 13 Km.

4.2.4 Ancho de los bloques propuestos para la banda de 700 MHz

La canalización propuesta conserva los anchos totales propuestos por la Telecomunidad Asia Pacifico en el modo FDD (45 + 45 MHz) y ha tomado en cuenta los cálculos teóricos realizados para la velocidad de transmisión, sin embargo también se tener en cuenta la inclusión de nuevos operadores.

Se debe tener presente que el reparto equitativo de la banda de 700 MHz, no implica necesariamente que promueva la competencia, dado que los operadores actuales ya poseen una cantidad de espectro en las bandas bajas (850 MHz) y las bandas altas (1900 MHz), por lo que la inclusión de un nuevo operador debe hacerse no solo pensando en una sola banda sino mas bien en un conjunto de bandas altas y bajas que alcanzarían niveles aceptables para competir con los operadores actuales. Por ello el reparto de de los bloques de la banda de 700 MHz se debe hacer en conjunto con otra banda alta, para incluir a un nuevo operador.

Es preciso señalar que la propuesta de canalización de la banda de 700 MHz representa la opinión exclusiva del autor.

En tal sentido, la propuesta es la siguiente:

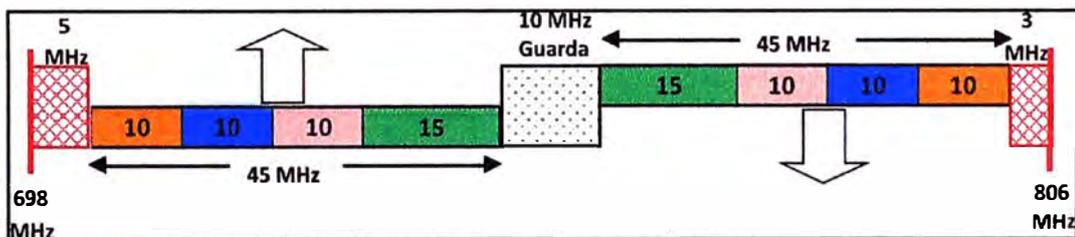


Fig. 4.14: Canalización de la banda de 700 MHz.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones obtenidas en el presente informe son las siguientes:

1. La banda de 700 MHz, ofrece una oportunidad para reducir considerablemente la brecha digital en las zonas rurales, dadas sus características de cobertura.
2. La tecnología OFDM, ha sido alentada notablemente por la evolución de los procesadores DSP y por la fácil implementación del modulo FFT.
3. La canalización de Estados Unidos no hace uso efectivo del potencial de toda la banda, dado que contiene bloques fragmentados.
4. La Telecomunidad Asia Pacifico que la conforman países como China, India, y que contiene a la mayor cantidad de población mundial, 60% de la población aproximadamente, ello ofrece una economía de escala muy atractiva para los operadores y por ende para el consumidor.
5. No es necesario el apagón analógico para la implementación de los nuevos servicios móviles en la banda de 700 MHz.
6. La pronta licitación de esta banda ofrece posibilidades para acelerar el apagón analógico.
7. La armonización de espectro en los países de la región, potencia la economía de escala, la que a su vez disminuye el costo del equipamiento hasta en aproximadamente 50%.
8. El equipamiento existente en esta banda solo se ha dado en el mercado de Estados Unidos de América, por el momento.
9. Para fomentar la competencia e incluir a un nuevo operador, no es necesario el reparto equitativo de bloques de espectro en esta banda sino más bien repartir en total bloques de espectro de bandas bajas y altas.

ANEXO A
GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

HSPA	High Speed Packet Access (Acceso de Paquetes de Alta Velocidad)
HSDPA.....	High Speed Downlink Packet Access (Acceso de Paquetes del Enlace de Bajada de Alta Velocidad)
UMB	Ultra Mobile Broadband (Ultra Movil de Banda Ancha)
UMTS.....	Universal Mobile Telecommunications System (Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal)
CDMA.....	Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código)
GSM	Groupe Speciale Mobile (Grupo Especial Movil)
EDGE.....	Enhanced Data Rates for GSM Evolution (Evolucion Mejorada de Tasa de Datos para GSM)
1XRTT.....	1 Times Radio Transmission Technology (Tecnologia de Transmision de Radiofrecuencia de 1 tiempo, CDMA200 de 1.25 MHz)
EV-DO.....	Evolution-Data Optimized (Evolucion de Datos Optimizada)
PSTN.....	Public Switched Telephone Network (Red Telefonica Conmutada Pública)
RS	Relay Station (Estación Relevadora)
BS	Base Station (Estación Base)
MS	Mobile Station (Estación Móvil)
SCHEDULER	Planificador
SCHEDULING	Algoritmo Planificador
HANDOVER	Fuera de Mano
SOFDMA.....	Soft Orthogonal Frequency Division Multiple Acces (Acceso Multiple por Division Ortogonal de Frecuencia Suave)
DSP	Digital Signal Procesor (Procesador Digital de Señales)
P-SCH.....	Primary Synchronization Channel (Canal de Sincronización Primaria)
S-SCH.....	Secondary Synchronization Channel (Canal de Sincronización Secundaria)

PCFICH.....	Physical Control Format Indicator Channel (Canal Físico de Control del Indicador de Formato)
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (Canal Físico de Control del Indicador de Formato)
PMCH	Physical Multicast Channel
RLC PDU.....	Unidad de Datos de Protocolo en Capa 2 - RLC
ACK/NAK.....	Acuse de Racibo/No Acuse de Recibo
BEAMFORMING .	Formación del Haz
TTG	Transmition Transition Gap (Transición de la Transmisión en la Guarda)
RTG.....	Reception Transition Gap (Transición de la Recepción en la Guarda)
CRC	Código de Redundancia Cíclica

ANEXO B
FUENTE DE FIGURAS y TABLAS

FUENTE DE FIGURAS Y TABLAS

- 1). Fig. 1.1: División del mundo por regiones.
<http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&mlink=emergency-bands&lang=es>
- 2). Tabla 1.1: Bandas identificadas para IMT-2000 e IMT-2000 avanzado.
http://www.mediatelecom.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=7676&catid=80&Itemid=9.
- 3). Fig. 1.2: Capacidades de la IMT-2000 y los sistemas posteriores.
UIT-R M.1645, http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1645-0-200306-!!!PDF-E.pdf
- 4). Tabla 1.2: Asignaciones vigentes en la banda de 698 – 746 MHz.
http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/radiodifusion/Autorizadas_Television.PDF
- 5). Tabla 1.3: Cuadro de atribución de frecuencias de la banda de 614 – 806 MHz.
RM 150-2010-MTC/03 / Publicado en el diario el Peruano el 30/03/2010.
- 6). Fig. 1.3: Estado actual de la banda de 700 MHz.
Diseño Propio.
- 7). Tabla 1.4: Cuadro de atribución de frecuencias de la banda de 614 – 806 MHz sin efecto.
http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/nuevo_PNAF_version_agosto2006.pdf
- 8). Tabla 1.5: Número de conexiones de banda ancha por tecnología y medio de acceso.
https://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/index.html
- 9). Tabla 1.6: Subasta de la banda de 700 MHz en Estados Unidos de América.
FCC, http://wireless.fcc.gov/auctions/default.htm?job=auction_summary&id=73
- 10). Tabla 1.7: Distribución de los bloques de frecuencia de la canalización de E.E.U.U.
Diseño propio.
- 11). Fig. 1.4: Canalización de la banda de 700 MHz en E.E.U.U.
FCC, <http://wireless.fcc.gov/auctions/data/bandplans/700MHzBandPlan.pdf>

- 14). Fig. 1.7: Propuesta de canalización A6 en la banda de 698 – 806 MHz.
Draft revision of recommendation itu-r m.1036-3, http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1036-4-201203-D!!PDF-E.pdf
- 15). Fig. 1.8: Propuesta del 3GPP para canalización de la banda de 698 – 806 MHz.
http://www.4gamericas.org/documents/4G_Americas_Coexistence_of_GSM_HSPA_LTE_May%202011x.pdf
- 16). Fig. 1.9: Propuesta de WiMAX canalización en la banda de 698 – 806 MHz.
WMF-T23-005-R015v05, DRAFT-T23-005-R015v05-B
- 17). Fig. 1.10: Uso de la banda de 790 – 862 MHz en Europa.
AHCJET, El “refarming” de las bandas GSM en Europa, Ene-Mar-2010
- 18). Fig. 1.11: Propuesta de canalización FDD de APT en la banda de 698 – 806 MHz.
Telecomunidad Asia Pacífico, Informe Nº APT/AWF/REP-14.
- 19). Fig. 1.12: Propuesta de canalización TDD de APT en la banda de 698 – 806 MHz.
Telecomunidad Asia Pacífico, Informe Nº APT/AWF/REP-14.
- 20). Fig. 2.1: Evoluciones de las Tecnologías Móviles Inalámbricas.
Atel Asesores.
- 21). Fig. 2.2: Evolución de los sistemas de conmutación en las redes GSM.
Diseño propio.
- 22). Fig. 2.3: Evolución desde UTRAN a E-UTRAN.
Atel Asesores.
- 23). Fig. 2.4: Evolución de las diferentes revisiones de WiMAX.
Diseño propio.
- 24). Fig. 2.5: Topología en multisalto en WiMAX Mobile.
IEEE 802.16m System Description Document, <http://ieee802.org/16>
- 25). Fig. 2.6: Medio de comunicación no compartido.
Diseño propio.
- 26). Fig. 2.7: Medio de comunicación compartido.
Diseño propio.
- 27). Fig. 2.8: Comparación entre FDM y OFDM.
Atel Asesores.
- 28). Fig. 2.9: Espectro FDM y espectro OFDM.
Diseño propio.
- 29). Fig. 2.10: Recepción de los bloques SC-FDMA en la estación base.

- Atel Asesores.
- 30). Fig. 2.11: Símbolos OFDMA y SC-FDMA.
Atel Asesores.
- 31). Fig. 2.12: Canal radioeléctrico con multitrayectos.
Atel Asesores.
- 32). Fig. 2.13: Pérdida de la ortogonalidad de la señal OFDM.
Atel Asesores.
- 33). Fig. 2.14: Ilustración Prefijo Cíclico PC.
Atel Asesores.
- 34). Fig. 2.15: Corrección de la interferencia entre símbolos, utilizando el prefijo cíclico.
Atel Asesores.
- 35). Tabla 2.1: Especificación de la separación entre portadoras.
Diseño propio.
- 36). Tabla 2.2: Frecuencias fundamentales para LTE y WiMAX.
Diseño propio.
- 37). Tabla 2.3: Sub-portadoras posibles a partir de la ortogonalidad de la señal OFDM.
Diseño propio.
- 38). Tabla 2.4: Comparación de algoritmos de la Transformada de Fourier.
Diseño propio.
- 39). Fig. 2.16: Señal senoidal en el tiempo discreto, muestreada con 20 muestras.
Diseño propio.
- 40). Fig. 2.17: Espectro de la señal de entrada al FFT.
Diseño propio.
- 41). Fig. 2.18: Señal senoidal en el tiempo discreto, con muestras ceros aumentadas.
Diseño propio.
- 42). Fig. 2.19: Espectro de salida del FFT debido a la entrada senoidal.
Diseño propio.
- 43). Fig. 2.20: Bloque general de la modulación OFDM en la estación base.
Diseño propio.
- 44). Tabla 2.5: Parámetros generales del Ancho de Banda en LTE.
Jim Zyren, Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer", white paper

- 45). Fig. 2.21: Recurso de Bloque RB con CP normal (7 símbolos OFDM + CP Normal).
Teleco, Tutoriais Telefonía Celular, <http://www.teleco.com.br/tutoriais.asp>
- 46). Tabla 2.6: Distribución de parámetros para los anchos de banda comunes en LTE.
Jim Zyren, Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer”, white paper
- 47). Fig. 2.22: Recurso de Bloque General.
Diseño propio.
- 48). Tabla 2.7: Balance de los tiempos en 1 Slot OFDM.
Diseño propio.
- 49). Fig. 2.23: Formación de la trama OFDM – FDD – LTE, BW=20 MHz.
Agilent Technologies, System Overview, Product Development, and Test Challenges, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf>
- 50). Fig. 2.24: Estructura de la trama OFDM – TDD – LTE.
Agilent Technologies, System Overview, Product Development, and Test Challenges, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf>
- 51). Fig. 2.25: Diversas formas de sistemas de antenas.
Diseño propio
- 52). Fig. 2.26: Ejemplo del sistema de antena SU-MIMO.
Atel Asesores.
- 53). Fig. 2.27: Ejemplo del sistema de antena MU-MIMO.
Atel Asesores.
- 54). Fig. 2.28: LTE en los tres dominios, tiempo, frecuencia y espacio.
Atel Asesores.
- 55). Fig. 2.29: Estructura básica de la trama, para BW=5, 10 y 20 MHz.
IEEE 802.16m System Description Document, <http://ieee802.org/16>
- 56). Fig. 2.30: Estructura de trama TDD y FDD con CP=1/8T_u (relación DL:UL es 5:3).
IEEE 802.16m System Description Document, <http://ieee802.org/16>
- 57). Fig. 2.31: Coexistencia WiMAX LTE-TDD
IEEE 802.16m System Description Document, <http://ieee802.org/16>
- 58). Fig. 2.32: Plan de frecuencias FDD para asignaciones contiguas y no contiguas.
http://www.hughes.com/HNS%20Library%20For%20Products%20%20Technology/Administracion_Airlink.pdf

- 59). Fig. 2.33: Plan de frecuencias TDD y su plan FDD correspondiente.
http://www.hughes.com/HNS%20Library%20For%20Products%20%20Technology/Administracion_Airlink.pdf
- 60). Fig. 2.34: Canales de guarda y anchos de banda de canal para sistemas FDD y TDD.
http://www.hughes.com/HNS%20Library%20For%20Products%20%20Technology/Administracion_Airlink.pdf
- 61). Fig. 2.35: Canales de guarda estrechos y amplios.
http://www.hughes.com/HNS%20Library%20For%20Products%20%20Technology/Administracion_Airlink.pdf
- 62). Fig. 3.1: Compromisos de los operadores para desplegar redes LTE.
 Press releases and GSA (15 April, 2009)
- 63). Fig. 3.2: Superposición de las canalizaciones.
 Diseño propio.
- 64). Fig. 3.3: Posibles interferencias en TDD.
 Diseño propio.
- 65). Tabla 3.1: Operadores móviles en China.
 Telecomunidad Asia Pacífico, Informe APT/AWF/REP-15,
<http://www.aptsec.org/AWF-RECREP>.
- 66). Fig. 3.4: Ipad 3 con modulo LTE
 Características de Ipad 3, <http://www.infonucleo.com>
- 67). Fig. 3.5: Valor social de reasignar la banda de 700 MHz.
 Sebastián Cabello, Dividendo digital, www.gsmworld.com/digitaldividend
- 68). Fig. 4.1: Propuesta de canalización de la APT - FDD.
 Telecomunidad Asia Pacífico, Informe APT/AWF/REP-14,
<http://www.aptsec.org/AWF-RECREP>.
- 69). Fig. 4.2: Elección de modulación utilizando modulación adaptativa.
 Diseño propio.
- 70). Fig. 4.3: Transformación de canales lógicos a físicos.
 Atel Asesores.
- 71). Fig. 4.4: Canales de control y de datos en LTE.
 Atel Asesores.
- 72). Fig. 4.5: Ubicación del PDCCH en la trama.
 Diseño propio.
- 73). Fig. 4.6: Señales de referencia en la sub-trama.
 Diseño propio.

- 74). Fig. 4.7: Caso 1 cuando el PDCCH ocupa 1 símbolo.
Diseño propio.
- 75). Fig. 4.8: Caso 2 cuando el PDCCH ocupa 2 símbolos.
Diseño propio.
- 76). Tabla 4.1: Ejemplo de cálculo de la velocidad de transmisión.
Diseño propio.
- 77). Fig. 4.10: Caso 3 cuando el PDCCH ocupa 3 símbolos.
Diseño propio.
- 78). Fig. 4.11: Capa 2 en el enlace de bajada.
Diseño propio.
- 79). Fig. 4.12: Formación del bloque de transporte.
Diseño propio.
- 80). Fig. 4.13: La tasa de codificación como una función de las condiciones del canal.
<http://www.lte-bullets>
- 81). Tabla 4.2: Cálculo de las velocidades de transmisión en LTE.
Diseño propio.
- 82). Fig. 4.14: Canalización de la banda de 700 MHz.
Diseño propio.
- 83). Ecuación 2.1: Señal OFDM banda base de la sub-portadora k
Atel Asesores
- 84). Ecuación 2.2: Frecuencia fundamental
Atel Asesores
- 85). Ecuación 2.3: Frecuencias ortogonales
Atel Asesores
- 86). Ecuación 2.4: Parametrización de las frecuencias ortogonales
Atel Asesores
- 87). Ecuación 2.5: Relación fundamental entre NFFT y la señal OFDM
Atel Asesores

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Unión Internacional de Telecomunicaciones, <http://www.uit.int>
- [2] Plan Nacional de Atribución de Frecuencias – PNAF, <http://www.mtc.gob.pe>
- [3] 4G Américas, <http://www.4gamericas.org>
- [4] Plan Nacional para el desarrollo de la Banda Ancha, <https://www.mtc.gob.pe>
- [5] Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, <http://www.unctad.org/Templates/webflyer.asp?docid=13912&intltemID=1397&lang=1>
- [6] Comisión Federal de Comunicaciones – FCC, http://wireless.fcc.gov/auctions/default.htm?job=auction_summary&id=73
- [7] Draft revision of recommendation itu-r m.1036-3, http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1036-4-201203-D!!PDF-E.pdf
- [8] AHCJET, El “refarming” de las bandas GSM en Europa, Ene-Mar-2010
- [9] Telecomunidad Asia Pacífico, Informe N° APT/AWF/REP-14, <http://www.aptsec.org/AWF-RECREP>
- [10] Long Term Evolution – LTE, www.atelasesores.com.ve, Lima, Octubre 2010
- [11] WiMAX Móvil y 4G, www.atelasesores.com.ve, Caracas, Octubre 2009
- [12] Long Term Evolution – LTE, www.atelasesores.com.ve, Lima, Octubre 2010
- [13] Cap. 3 OFDMA y SC-FDMA, www.atelasesores.com.ve, Caracas, Agosto 2011
- [14] Aula 6 FFT, Clase de Titulación del Profesor Juan Mauricio, Lima UNI-FIEE.
- [15] Cap. 3 OFDMA y SC-FDMA, www.atelasesores.com.ve, Caracas, Agosto 2011
- [16] Agilent Technologies, System Overview, Product Development, and Test Challenges, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf>
- [17] Jim Zyren, Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer”, white paper.
- [18] IEEE 802.16m System Description Document, http://ieee802.org/16/tgm/#07_002
- [19] White Paper Technology Administración Airlink, <http://www.hughes.com/HNS%20Library%20For%20Products%20%20Technology>

[/Administracion_Airlink.pdf](#)

- [20] 4G Americas, Sosteniendo el milagro, Marzo, 2011
- [21] Global Mobile Suppliers Association, Informe, 28 de Octubre de 2011
- [22] Motorola Novedades, <http://www.itenunlick.com/index.php>, 23-01-2012
- [23] Revista Infonucleo, Características del Ipad 3, <http://www.infonucleo.com>
- [24] Sebastián Cabello, Dividendo digital, www.gsmworld.com/digitaldividend
- [25] Chris Johnson, Downlink bit rates in Long Term Evolución, <http://www.lte-bullets>
- [26] Revista Telegeografía, Optus concludes Bendigo 700MHz LTE trials, <http://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2012/03/16/optus-concludes-bendigo-700mhz-lte-trials/>