



UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION EN FISICA

TESIS

ESTUDIO TEORICO-EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE TELEFONIA LTE Y SU APLICACIÓN EN ESQUEMAS HÍBRIDOS DE RADIOFRECUENCIAS Y FIBRA ÓPTICA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO EN TECNOLOGIA ELECTRONICA

PRESENTA

OSCAR GERARDO OVIEDO FEDERICO

DIRECTOR

Dr. ALEJANDRO GARCIA JUAREZ

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en mis momentos débiles y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

A mis padres Ramón y Cecilia por su apoyo en todos los momentos difíciles, por preocuparse por haberme dado una educación y un excelente ejemplo de vida a seguir, a mis hermanos Juan, Fernando y Hugo por su apoyo en todos los proyectos de vida en los cuales los he inmiscuido

A Daniela por ser una persona muy importante en mi vida por apoyarme en las buenas y en las malas y sobre todo su amor incondicional.

Al Dr. Alejandro García, por haber brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis y por todas las facilidades que me fueron otorgadas, durante la elaboración de mi trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a una persona muy importante que llegó a cambiarme la vida por completo, una persona a la que le agradezco porque cada día aprendo algo nuevo, por tu amor incondicional y sincero, te amo, Santiago.

A tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para ti, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado, Daniela.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Agradecimientos..... | 1 |
| Dedicatoria..... | 2 |
| CAPÍTULO I..... | 6 |
| 1.1 Introducción General..... | 6 |
| 1.2 Estado del Arte en Sistemas Telefonía LTE..... | 7 |
| 1.3 Objetivo..... | 8 |
| 1.4 Organización de la Tesis..... | 9 |
| CAPÍTULO II..... | 10 |
| II Descripción de las Tecnologías de Telefonía Móvil..... | 10 |
| 2.1 Historia de la Telefonía Celular..... | 11 |
| 2.2 Componentes Básicos de la Telefonía Celular..... | 12 |
| 2.3 Generaciones de Sistemas de Comunicación Celular..... | 13 |
| 2.3.1 Primera Generación de los Teléfonos Celulares..... | 13 |
| 2.3.2 Segunda Generación de los Teléfono Celulares..... | 13 |
| 2.3.2.1 Tecnología 2.5g “La Generación de Transición”..... | 14 |
| 2.3.3 Tercera Generación de los Teléfonos celulares..... | 15 |
| 2.3.3.1 Proyecto 3gpp (<i>3rd generation partnership project</i>)..... | 17 |
| 2.3.4 Tecnología LTE (long term evolution)..... | 18 |
| Referencias Capítulo II..... | 24 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III..... | 25 |
| III Comparación de la Tecnología de Tercera Generación con LTE..... | 25 |
| 3.1 Comparación a Nivel Capa Física de las Tecnologías 3G y LTE..... | 26 |
| 3.1.1 Desventajas de WCDMA..... | 28 |
| 3.1.2 Ventajas de la Red LTE..... | 29 |
| Referencias Capítulo III..... | 31 |
| | |
| CAPÍTULO IV..... | 32 |
| IV Sistemas de Radio – Fibra- Óptico..... | 32 |
| 4.1 Introducción al Sistema de Radio-Fibra-Óptica..... | 33 |
| 4.2 Descripción Sobre Radio- Fibra Óptica..... | 34 |
| 4.3 Sistema Típico de Radio-Fibra Óptica..... | 36 |
| 4.4 Aplicaciones de Radio-Fibra Óptica..... | 37 |
| 4.5 Métodos de Transmisión y Modulación Óptica..... | 38 |
| Referencias Capítulo IV..... | 39 |
| | |
| CAPÍTULO V..... | 41 |
| V Demostración del Sistema LTE al Sistema Híbrido de Radiofrecuencia y Fibra Óptica..... | 41 |
| 5.1 Introducción del Sistema LTE al Sistema Híbrido de Radiofrecuencia y Fibra Óptica..... | 42 |
| 5.2 Descripción de Equipos Utilizados en Sistema Experimental..... | 42 |
| 5.2.1 Tipos de Fibras Multimodo y Monomodo..... | 44 |
| 5.2.2 aislador óptico y control de polarización..... | 47 |
| 5.3 Técnicas Ópticas de Modulación..... | 48 |
| 5.3.1 Modulación Directa..... | 49 |

| | | |
|--|--------------------------------|-----------|
| 5.3.2 | Modulación Externa..... | 50 |
| 5.4 | Modulador Electro-Óptico..... | 50 |
| 5.5 | Demodulación..... | 52 |
| 5.5.1 | Fotodetector..... | 53 |
| 5.6 | Resultados Experimentales..... | 54 |
| Referencias Capítulo V..... | | 57 |
| CAPÍTULO VI..... | | 63 |
| VI Conclusiones Generales y Perspectivas a Futuro..... | | 63 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | | 64 |
| ACRÓNIMOS..... | | 66 |

CAPÍTULO I

1.1.- Introducción General

Las altas velocidades de datos demandadas para la próxima generación de los dispositivos móviles no parece ser alcanzable con los actuales sistemas de telefonía móvil. Las velocidades esperadas son mucho mayores que las de los sistemas 3G y por obvias razones a las tecnologías anteriores a la misma. Surgen dos problemas fundamentales en cuanto a la nueva demanda, puesto que por un lado la energía disminuye linealmente con el incremento de la tasa binaria creando serios problemas relativos a la cobertura, y por otro lado la porción del espectro utilizado estará aproximadamente 2 GHz por encima de la usada por 3G.

Una posible solución a estos problemas es incrementar el número de estaciones base, lo cual generaría un mayor costo de la nueva arquitectura, pero es obvio que son necesarias ciertas modificaciones de la red actual y de las técnicas de transmisión avanzadas, que utilizan, nuevos tipos de antena.

Estos nuevos nodos cubrirán regiones de 200-500 m, aproximadamente, por lo tanto sus requisitos de potencia serán menores en relación a las estaciones base o tecnologías anteriores, de manera que los nodos de cuarta generación Long Term Evolution (LTE) serán más baratos ya que el diseño de los amplificadores será más económico. Además los mástiles no tendrán que ser tan altos y esto permite reducir los costos de mantenimiento.

Por otro lado los nodos no están conectados directamente al backhaul (núcleo de red) sino que almacenan los datos recibidos de la BS (estación base) y los renvían hacia los usuarios o viceversa, con lo cual el costo de la interfaz entre la estación base y el núcleo de red de la que deberían disponer los RN (reley node o antena celular) puede eliminarse.

Por otra parte como una propuesta de esta tesis se estudia la arquitectura de red LTE de manera más exhaustiva, explicando cada uno de los componentes de la red, prestando mayor atención en la interconexión que existen entre los nodos y su funcionamiento actual basada en los sistemas fotónicos de radiofrecuencia y fibra óptica.

De igual forma se describe un poco la historia de las tecnologías que han pasado por la humanidad y como han impactado a la misma y porque la tecnología de radiotelecomunicaciones es indispensable.

1.2.- Estado del Arte en Sistemas Telefonía LTE.

Organizaciones especializadas, proveedores de equipos y servicios han debatido sobre el desarrollo de tecnologías con mayores capacidades y funcionalidades, de tal forma que favorezcan el mercado de las comunicaciones inalámbricas.

A través del tiempo, el desarrollo tecnológico y la lucha por dominar mercados han generado importantes estándares y tecnologías.

Los sistemas celulares pueden clasificarse según se considere, por medio de: el tiempo de acceso, cobertura, tasa de transmisión de datos y eficiencia en manejo del espectro.

Con el paso del tiempo y la demanda de los usuarios hacia las redes de telecomunicaciones, la tecnología ha ido avanzando hasta tener en la actualidad la tecnología LTE, la cual está diseñada para transportar solamente datos, por lo que la voz tiene que ser transmitida en formato digital.

Por otra parte la tecnología LTE-Advanced alcanzará velocidades de descarga de hasta de 1Gbps, con la única restricción de que el usuario no se mueva muy rápido. La voz se podrá transmitir por medio de esta tecnología y no se realizará el uso de una tecnología anterior para la transmisión de datos.

1.3.- Objetivo

Realizar un estudio teórico experimental, basado en la tecnología de la telefonía móvil LTE y su respectiva aplicación sobre los esquemas híbridos de radiofrecuencia y fibra óptica y como han impactado al mundo actual.

1.4.- Organización de la Tesis

Capítulo I Durante la primera parte de este trabajo, se describirá brevemente el impacto en la sociedad de la necesidad de estar comunicado. Así mismo se estudia la tendencia de la nueva tecnología LTE en el mundo. También se describen las diferentes tecnologías de telefonía móvil que permiten satisfacer las necesidades de los clientes y de las empresas prestadoras del servicio.

Capítulo II Se estudiará la evolución de las tecnologías celulares, tanto a nivel de radio como de arquitectura (sistemas analógicos y digitales).

Capítulo III Se analizarán y se compararán las tecnologías más resaltadas en la actualidad (3G y LTE “4G”), de igual manera se estudiarán sus ventajas y desventajas al utilizar cada una de ellas.

Capítulo IV Este capítulo está dedicado al estudio del sistemas de radio fibra-óptica (medios de transmisión y modulación óptica).

Capítulo V En este capítulo se analizan los espectros de las señales emitidas por la tecnología de comunicación más moderna, así mismo se comprueba que por medio de Fibra Óptica es posible transmitir señales de video en tiempo real utilizando las frecuencias portadoras que manipula la tecnología de los equipos celulares.

CAPÍTULO II

II.- Descripción de las Tecnologías de Telefonía Móvil

Objetivo

Durante este capítulo se estudiará como la comunicación del ser humano ha tenido una función poderosa: la de expresar sus sentimientos y sobre todo satisfacer sus necesidades. También se describe la evolución de las tecnologías que se han estado utilizando a través de los años, hasta llegar a la actual LTE.

2.1.- Historia de la Telefonía Celular

La radiocomunicación móvil es usada por primera vez en el año de 1921 por la policía de Detroit, la comunicación se realizaba en un solo sentido, desde el puesto o estación de policía hasta los móviles, en la década de los 30's se implementó el sistema de dos vías con equipos de transmisores llamados "*push-to-talk o half-duplex*", el cual consistía en transmitir y tener que esperar a que se terminara la conversación para poder responder ya que el método de transmisión no era bidireccional.

En el año de 1947 se desarrolla el transistor y se concibe el recurso de frecuencias entre áreas hexagonales, La comunicación celular para los años 50's fueron desarrollados sistemas para utilizar canales separados para hablar y escuchar simultáneamente, como se muestra en la Figura 2.1 esos sistemas de doble banda "*full duplex*" evitaban realizar el cambio de función de transmisión (Tx) / recepción (Rx) [1].

La compañía Bell desarrolló y utilizó sistemas troncales hacia 1968, con el advenimiento de los microprocesadores en los años 70's. El desarrollo definitivo se dio hasta 1969 y fue conocido como sistema IMTS "*Improved Mobile Telephone System*" el cual se trabajaba en una banda de 450MHz.

IMTS contaba con transceptores (transmisor-receptor) "*full-Duplex*", central automatizada y antena para cubrir el área de servicio, la señalización era automática, inclusive para la red pública.



Figura 2.1 Diagrama sistema full dúplex

En los años de 1980 los equipos celulares empezaron a utilizar bandas de 800 y 900 MHz, usando entre 666 y 1000 canales [2]

2.2.- Componentes Básicos de un Sistema Celular

El término celular se refiere a la forma hexagonal en que están agrupadas las zonas de servicio, las zonas son demarcadas en forma inicial por las radio-bases/estaciones-bases “BTS”, entre la BTS y la estación móvil “MS” se establece un enlace bidireccional de radiofrecuencia que permite comunicaciones inalámbricas.

En la Figura 2.2, se observa cada componente esencial que conforma una red celular, la cuales son: BTS, MS, MSC, RTPC. A continuación se describen cada uno de estos mismos.

Cada BTS del sistema es enlazada finalmente a una central especializada “MSC” para brindar el servicio de conmutación entre los móviles. La central de conmutación para los móviles está conectada a otras redes, como la red telefónica pública conmutada (RTPC) a la cual enlaza servicios entre abonados móviles con telefonía fija. [3]

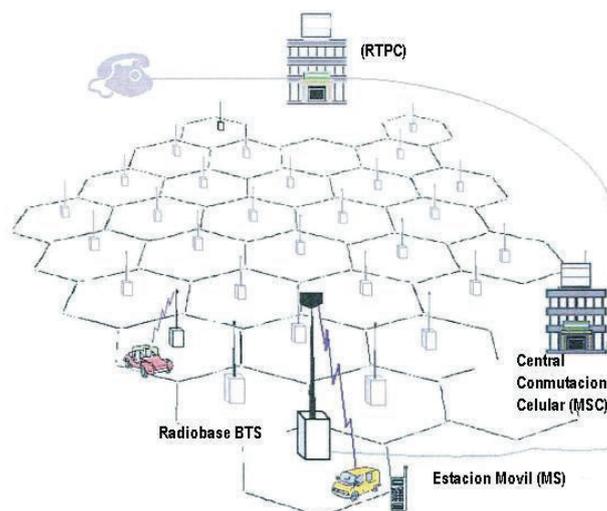


Figura 2.2 Diagrama Radio Telefonía Móvil Celular

2.3.- Generaciones de Sistemas de Comunicación Celular

A continuación se describirá brevemente cada una de las tecnologías que han surgido y sus respectivas evoluciones, hasta llegar hasta al punto de interés: la cuarta generación de telefonía móvil.

2.3.1.- Primera Generación de los Teléfonos Celulares

La primera generación comprende desde la aparición del primer teléfono celular en el mercado mundial hasta finales de los 80's. Éstos eran caracterizados por ser de tecnología analógica, para uso restringido de comunicaciones orales. La tecnología predominante en esta generación fue la *AMPS* “*Advanced Mobile Phone System*”).

2.3.2.- Segunda Generación de los Teléfonos Celulares

D-AMPS “*digital advanced mobile phone system*”, también conocido como TDMA. Es una tecnología para la transmisión digital de señales de radio y está basado en el estándar de mayor desarrollo mundial IS-136, D-AMPS es la plataforma ideal para los servicios PCS “*personal communication service*”. El sistema que utiliza es el CM8800, el cual tiene un alto grado de flexibilidad y funcionalidad con las frecuencias de 800/1900MHz, este sistema le permite al usuario (UE) un cambio de migración rápidamente de analógico a digital.

CDMA “*code division multiple access*”; es un sistema digital de la década de los 90's que opera con una banda de 800 y 1900 MHz. Los servicios que ofrecía eran voz y datos con una velocidad de 50 a 64Kbps, así también ofrece una tecnología de buzón de voz y mensajes cortos (SMS), esta tecnología requiere de pocos sitios, tiene una ganancia de ocho a diez veces mejor que la tecnología AMPS y permite una mejor calidad de sonido.

Nace la tecnología GSM “*global system for mobile communications*”, es uno de los líderes del sistema digital nacido en 1991. GSM tiene en común con D-AMPS el empleo de la técnica de TDMA, tiene servicios de alta velocidad de datos, mensajes cortos, internet, etc, además de brindar mayor seguridad en la comunicación y mayor calidad de voz. El sistema

se originó en Europa y operaba en continente asiático con 900 y 1800MHz mientras que en américa opera entre los 850 y 1900MHz.

2.3.2.1.- Tecnología 2.5G “La Generación de Transición”

Con la llegada de la generación de transición, los dispositivos móviles incluyeron dos nuevos servicios. Por un lado el sistema denominado EMS, que básicamente se trataba de un servicio de mensajería mejorado, que entre sus prestaciones permitía incluir dentro de los mensajes algunas melodías e iconos. Para ello, los EMS fueron basados en lo que posteriormente serían los SMS, se incorporó el servicio de MMS, siglas de su nombre Sistema de “*Mensajería Multimedia*”, los cuales eran mensajes que ofrecían la posibilidad de incluir imágenes, sonidos, texto y videos, utilizando para ello la tecnología GPRS.

Con el agregado de estos dos innovadores servicios en las comunicaciones móviles, la generación de transición debió valerse para ello de la incorporación de dos importantes nuevas tecnologías, que surgieron en el año 2000, las cuales fueron el GPRS y EDGE; la tecnología GPRS, siglas de su nombre en inglés “*General Packet Radio Service,*” ofrece una velocidad de transferencia de datos de 56 kbps a 114 Kbps, mientras que la tecnología EDGE, “*Enhanced Data rates for GSM Evolution*”, permite alcanzar 384 Kbps en velocidad de transferencia.

A continuación en la Figura 2.3 podemos observar la arquitectura que forma la tecnología GSM a nivel radio, así mismo tenemos los diferentes bloques de conmutación y señalización que ocupa dicha tecnología para enlazar una llamada celular o telefonía fija.

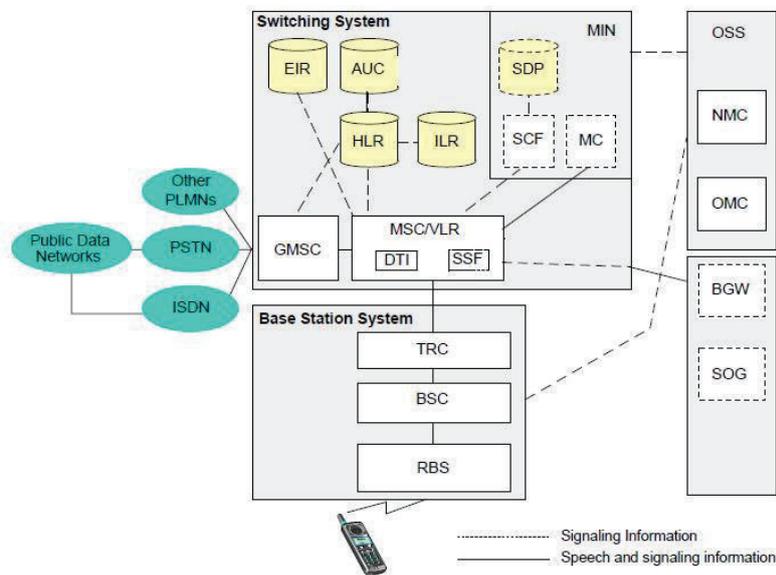


Figura 2.3 Arquitectura RAN GSM

2.3.3.- Tercera Generación de los Teléfonos Celulares

La tecnología de tercera generación (3G) mejor llamada UMTS “*universal mobile telecommunications system*” es un servicio de comunicaciones inalámbricas que permite al usuario realizar llamadas de voz y video-llamadas, así como tener el acceso al correo electrónico, navegar por Internet, ver la televisión en directo, descargar archivos (música, vídeos, programas, aplicaciones para dispositivos, juegos, etc.).

El 3G fue definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones “*ITU*” para lograr un único estándar de tecnología inalámbrica internacional, señalada como International Mobile Telecommunications-2000 “*IMT-2000*”. Actualmente, este único estándar internacional se ha visto dividido en múltiples estándares bien diferenciados entre sí. Los más adoptados son CDMA2000 y WCDMA, siendo así el estándar WCDMA el que ha sobresalido en el mercado de las radiotelecomunicaciones. Teniendo aproximadamente una tasa de transferencia entre 14 – 84 Mbps.

En la figura 2.4 se muestra la arquitectura de la red de acceso (UTRAN) de la tecnología UMTS.

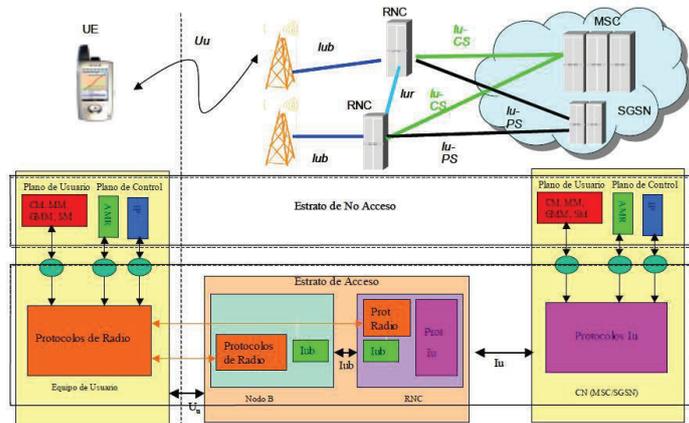


Figura 2.4 Arquitectura UTRAN

Se distinguen los siguientes elementos en la UTRAN:

Nodo B: estación radio da cobertura a los móviles.

RNC “*Radio Network Controller*”: equipo que controla a un grupo de Nodos-B.

UE: consiste en el equipo terminal del usuario

Las interfaces de la red UTRAN se pueden clasificar en internas y externas. Dentro de las primeras tenemos:

Interfaz Iub: interfaz entre los Nodos B y el RNC que permite el transporte de las tramas de radio desde el UE hasta el RNC.

Interfaz Iur: permite la ejecución de traspasos suaves. Proporciona funciones de macro diversidad provenientes de la tecnología CDMA.

Interfaz Iu: se encuentra entre el RNC y la MSC (Iu-CS) o SGSN (Iu-PS). El protocolo de señalización que utiliza es el RNAP “*Radio Access Network Application Part*”.

Interfaz Uu: es la interfaz que se encuentra entre el móvil y el Nodo B. Se encuentra basado en la tecnología WCDMA.

Esta generación está basada en una familia de estándares para todas las aplicaciones y para todos los países reconocidos en el IMT-2000, las características que a continuación se mencionan son las más representativas de esta generación

- Uso global
- Uso para todas las aplicaciones móviles
- Tasas de transmisión de hasta 2 Mbps
- Alta eficiencia en el espectro

2.3.3.1. - Proyecto 3GPP (*3rd generation partnership project*)

El Proyecto Asociación de Tercera Generación o más conocido por el acrónimo inglés 3GPP es la colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como Miembros Organizativos.

El objetivo inicial del 3GPP era asentar las especificaciones de un sistema global de comunicaciones de tercera generación 3G para móviles basándose en las especificaciones del sistema evolucionado "Global System for Mobile Communications" GSM dentro del marco del proyecto internacional de telecomunicaciones móviles 2000 de la ITU.

La estandarización 3GPP abarca radio, redes de núcleo y arquitectura de servicio. Tiene por objetivo la especificación de los estándares por otra tecnología 3G basada en el sistema IS95 (CDMA), y que es más conocido por el acrónimo CDMA2000. El equipo de apoyo 3GPP, también conocido como el Centro de Competencias Móviles se encuentra situado en las oficinas de la ETSI en Sophia Antípolis (Francia).

2.3.4. - Tecnología LTE (*long term evolution*)

LTE o también llamado E-UTRAN “*Evolución Universal de Acceso a la Red Terrestre*” es la parte de acceso del sistema de paquetes Evolved “*EPS*”. Los principales requisitos para el acceso a la red nueva son de alta eficiencia espectral, altas velocidades de datos pico, tiempo de ida y vuelta y la flexibilidad de frecuencia.

GSM fue desarrollado para transportar servicios de tiempo real, en un modo de conmutación de circuitos en azul en la Figura 2.5, con los servicios de datos que sólo son posibles a través de un circuito de conexión de conmutación de módem, con velocidades de datos muy bajas. El primer paso hacia una conexión basada en paquetes de IP conmutada en verde en la Figura 2.5 fue con la solución de la evolución de GSM a GPRS, utilizando la interfaz de aire, con el mismo método de acceso TDMA “*Time Division Multiple Access*”.

Para alcanzar mayores velocidades y volumen de datos se desarrolló la tecnología UMTS, basada en la tecnología CDMA “*Code Division Multiple Access*”. La red de acceso UMTS se emula en un circuito para la conexión de conmutación de servicios de tiempo real y una conexión de conmutación de paquetes para servicios de comunicación de datos en negro en la Figura 2.5. En UMTS, la dirección IP es asignada al UE “*equipo del usuario*” cuando un servicio de comunicación de datos se establece y se libera cuando el servicio es concluido.

El Sistema de Paquetes Evolucionado “*EPS*” es totalmente basado en IP’s. Ambos servicios son en tiempo real al igual que los servicios de comunicación de datos, todo esto se realiza por el protocolo de IP. La dirección IP se asigna cuando el móvil está encendido y se libera cuando se desconecta o el equipo celular es apagado.

La nueva solución de acceso, LTE, se basa en la multiplexación por división de frecuencias ortogonales OFDM “*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*” para ser capaz de alcanzar incluso mayores velocidades y los volúmenes de datos. Para operaciones de descarga “*Down link*” la tecnología se engancha al acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales OFDMA “*ortogonal frequency división multiple Access*” y para operaciones de recepción “*up link*” utiliza SC-FDMA “*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*” [4].

La Modulación es de alto orden, con un ancho de banda mayor de 20 MHz en el enlace descendente es también una parte de la solución. La mayor tasa de datos teórica es 170 Mbps en el enlace ascendente con servicio MIMO “*Multiple Input Multiple Output*” la tasa puede ser tan alta como 300 Mbps en el enlace descendente.

El núcleo de la red EPC está preparado para trabajar con las tecnologías de acceso diferentes a los desarrollados por el 3GPP, como WiMAX y WiFi. Esta división no se basa en la solución técnica, sino la relación comercial de acuerdo entre los operadores.

La red de acceso LTE es simplemente una red de estaciones base, evolved NodeB (e-NB), generando una arquitectura plana en la Figura 2.6. No hay controlador inteligente centralizado, y los e-NBs son normalmente interconectados por la interfaz X2 y hacia la red central por la interfaz S1. La razón para la distribución de la inteligencia entre las estaciones de base en LTE es acelerar el establecimiento de la conexión y reducir el tiempo requerido para un traspaso. Para un usuario final la conexión de tiempo de configuración para una sesión de datos en tiempo real es en muchos casos cruciales, especialmente en juegos en línea. El tiempo para un traspaso es esencial para servicios en tiempo real donde los usuarios finales tienden a terminar las llamadas si la entrega se demora demasiado.

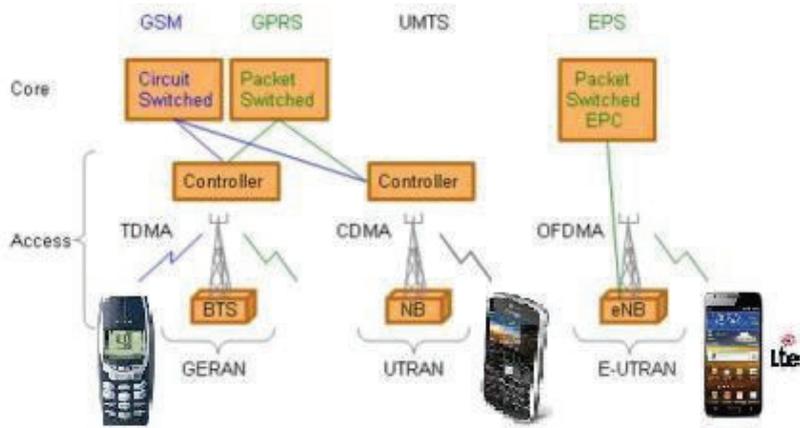


Figura 2.5 Conexiones de la Tecnologías

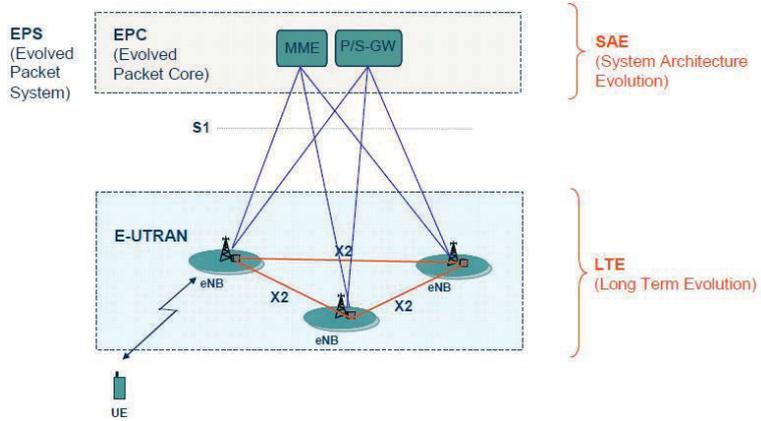


Figura 2.6 Conexiones de Interfaces en E-nodeB (EPS)

El planificador es un componente clave para el logro de un recurso de radios rápidos para un ajuste y poder ser utilizados de manera eficiente. El Intervalo de Tiempo de Transmisión “*TTI*” se establece en sólo 1 ms.

Durante cada TTI el planificador eNB deberá:

- Considerar el ambiente físico por la radio UE. Las UE informan de su calidad percibida de radio, como insumo para el planificador para decidir qué esquema de modulación y codificación utilizar.
- Informar a los UE de los recursos radios asignados. Para cada UE programado en un TTI habrá un bloque de transporte “*TB*” generado para transportar los datos del usuario. En el enlace descendente no puede haber un máximo de dos TBs. El TB se entrega en un canal de transporte. En LTE, el número de canales se reduce en comparación con UMTS. Para el plano de usuario sólo hay un canal compartido en cada dirección. El TB enviado en el canal, puede contener bits de un número de servicios, multiplexados juntos. En teoría, el mayor número de usuarios que se pueden programar durante 1 ms es de 440, suponiendo a una velocidad de 20 MHz y un sistema de antenas MIMO (4x4).

Para lograr una alta eficiencia a nivel radio fue elegido un enfoque multiportadora, para el enlace descendente se utiliza la tecnología OFDMA y para el enlace ascendente se utilizó la tecnología SC-FDMA también conocido como DFT propagación OFDMA “*Discrete Fourier Transform*” Figura 2.7 y Figura 2.8.

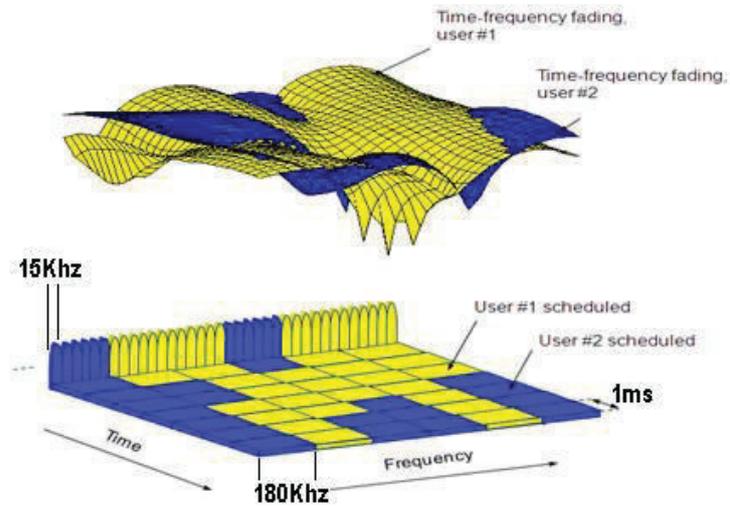


Figura 2.7 Tecnología OFDMA (DL)

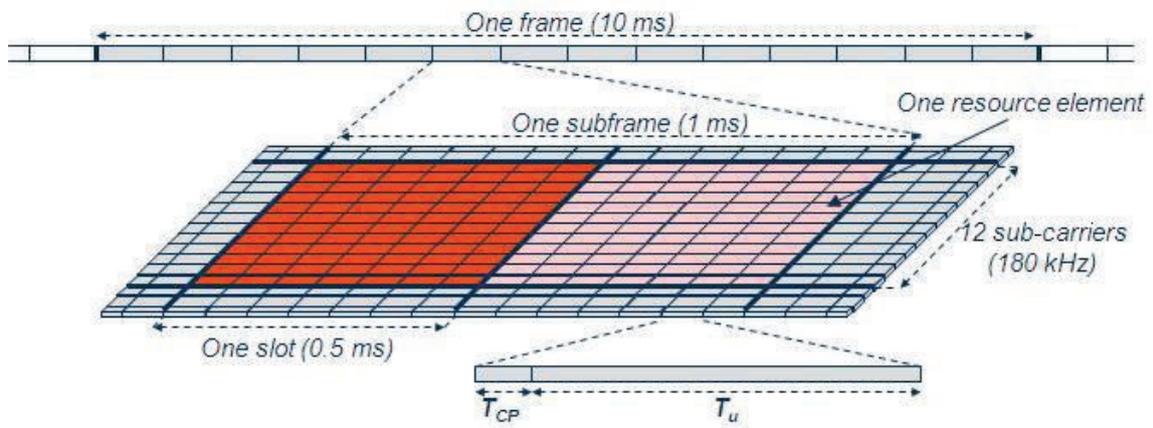


Figura 2.8 Capa Física LTE UPLINK (SC-FDMA)

OFDM es una tecnología multiportadora para subdividir el ancho de banda disponible en sub-portadoras ortogonales de banda estrecha. En estas sub-portadoras OFDMA puede ser compartido entre varios usuarios. Esta solución es lograr la alta eficiencia espectral, pero

requiere procesadores rápidos. Esto hace que sea posible explotar variaciones tanto en dominios de frecuencia y tiempo. [5]

Para habilitar la implementación posible en todo el mundo, apoyando como muchos requisitos normativos, LTE está desarrollado para una serie de bandas de frecuencia, que van desde 800 MHz hasta 3.5 GHz. Los anchos de banda disponibles son también flexibles, empezando con 1.4 MHz hasta 20 MHz. LTE está desarrollado para soportar tanto la división en el tiempo de la tecnología dúplex “*TD*”, así como dúplex por división de frecuencia “*FDD*”.

LTE proporciona una eficiencia espectral, admite velocidades de transmisión de datos e implementa una arquitectura de acceso flexible, y demuestra tener éxito entre los operadores y clientes.

Referencias Capítulo II

- [1] Gerencia de Capacitación y Desarrollo, Departamento de Capacitación Técnica y de informática *Libro curso de ingeniería celular*; pág. 13
- [2] Gerencia de Capacitación y Desarrollo, Departamento de Capacitación Técnica y de informática *Libro curso de ingeniería celular*; pág. 14-18
- [3] Gerencia de Capacitación y Desarrollo, Departamento de Capacitación Técnica y de informática *Libro curso de ingeniería celular*; pág. 20-23
- [4] Ericsson AB, 2012 LTE/SAE system overview LZX1238828 R6B; pág. 11
- [5] Ericsson AB, 2012 LTE/SAE system overview LZX1238828 R6B; pág. 61

CAPÍTULO III

III Comparación de la Tecnología de Tercera Generación con LTE

Objetivo

En este capítulo se describen las dos tecnologías más recientes que ofrecen las empresas de telefonía celular. Se resaltan sus ventajas y desventajas a nivel capa física.

3.1.- Comparación a Nivel Capa Física de las Tecnologías 3G y LTE

En la figura 3.1 comparamos la arquitectura capa física de las tecnologías con gran demanda en el mercado actualmente, así mismo se destaca la diferencia entre la tecnología LTE y 3G

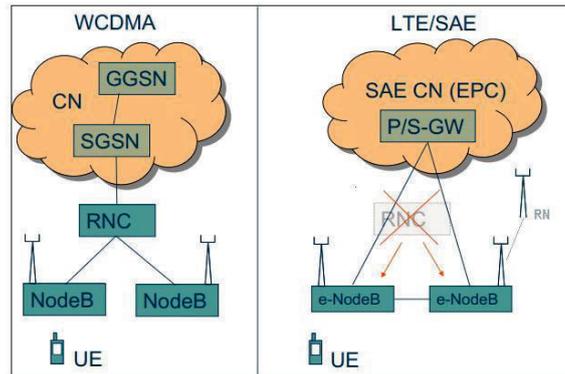


Figura 3.1 Arquitectura de las Tecnologías

En la arquitectura WCDMA:

- Red de acceso radio (UTRAN): proporciona la conexión entre los terminales móviles y el núcleo de red. Está compuesta de una serie de controladores de red radio (RNC) y una serie de nodos B que dependen del RNC. Los nodos B corresponden a las estaciones base.
- RNC: Realizan funciones tales como manejo del tráfico de los canales comunes, división de tramas de datos transferidas sobre muchos nodos B, control de potencia tanto en el enlace ascendente como en el descendente y control de admisión.
- Nodo B: Este nodo puede dar servicio a una o más células, sin embargo generalmente da servicio a una única célula. Dentro de las funciones ejecutadas por el Nodo B están aquellas concernientes a la capa física, la transmisión de mensajes de información de sistema de acuerdo con el horario determinado por el RNC,

división de tramas de datos internas al nodo B, control de potencia del enlace de subida en modo FDD y reportar las mediciones de interferencia en el enlace ascendente y la información de potencia en el descendente.

- Equipo de usuario (UE): También denominado móvil tiene como finalidad establecer comunicación con la estación base en lugares donde exista cobertura, con la finalidad de comunicarse con otro usuario de la red. [1]

En tecnología LTE

En este punto se explica cada uno de los elementos que componen la red de nueva generación, básicamente los nodos son los mismos que en 3GPP salvo en que aquí se introduce un nuevo elemento denominado *relay node*, que básicamente se trata de una repetidora como en GSM. Así los componentes fundamentales se pueden clasificar en:

- e-NB: La estación base es un elemento físico que sirve a un nodo retransmisión o un usuario en un área geográfica determinada. Varias estaciones base se interconectan entre sí a través del núcleo de red.
- UE “*User Equipment*”: Es el dispositivo final por el que un usuario puede acceder a un conjunto de servicios de red.
- RN “*Relay Node*”: Es un elemento que da servicio a un UT u otro RN que se encuentren bajo su área de cobertura. Está inalámbricamente conectado a una estación base, otro RN o una terminal de usuario y permite la comunicación entre éstos elementos.

3.1.1.- Desventajas de WCDMA.

- Cobertura limitada. Dependiendo de la localización, la velocidad de transferencia puede disminuir drásticamente (o incluso carecer totalmente de cobertura).
- Disminución de la velocidad si el dispositivo desde el que se conecta está en movimiento (por ejemplo si vamos circulando en automóvil).
- No orientado a conexión. Cada uno de los paquetes pueden seguir rutas distintas entre el origen y el destino, por lo que pueden llegar desordenados o duplicados. Sin embargo, el hecho de no ser orientado a conexión tiene la ventaja de que no se satura la red. Además para elegir la ruta existen algoritmos que "escogen" qué ruta es mejor, estos algoritmos se basan en la calidad del canal, en la velocidad del mismo.
- Aparición del efecto conocido como "respiración celular", según el cual, a medida que aumenta la carga de tráfico en un sector o celda, el sistema va disminuyendo la potencia de emisión, o lo que es lo mismo, va reduciendo el alcance de cobertura de la celda, pudiéndose llegar a generar zonas de "sombra" (sin cobertura), entre celdas adyacentes. [2]

3.1.2.- Ventajas de la Red LTE

En este punto se explica cuáles son las ventajas de las que dispone la red LTE y qué hace necesario este cambio de los actuales sistemas celulares.

Podríamos mencionar entre otras las siguientes ventajas:

- Mayores velocidades de datos alcanzando tasas de 100 Mbps en movimiento y de hasta 1 Gbps en reposo haciendo posible aprovechar al máximo los servicios multimedia de los que dispone la red y mejorando el servicio al usuario, ya que en la red UMTS las velocidades de datos son de unos 384 Kbps
- Incrementa la cobertura de red a través del empleo de nodos intermedios
- No se necesita una excesiva inversión para su desarrollo puesto que los RN son dispositivos de menor costo que las estaciones base.

En la Figura 3.2 se muestra un cuadro comparativo, en donde podemos observar los métodos de multiplexación o control de accesos de cada tecnología, de igual manera las ventajas que tiene OFDMA sobre LTE [3].

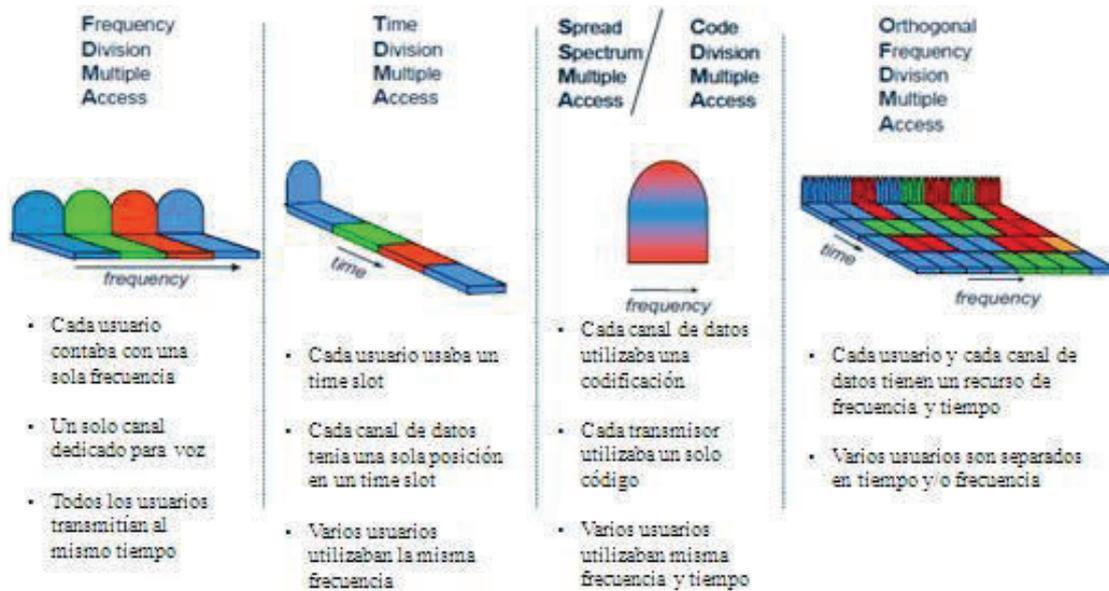


Figura 3.2 Tabla Comparativa de las Tecnologías

Referencias Capítulo III

- [1] J. E. Mitchell, A. Shami, M. Maier, and C. Assi, "Radio-over-Fiber (RoF) Networks Broadband Access Networks," ed: Springer US, 2009, pp. 283-300.
- [2] Ericsson AB, 2012 LTE L12 Air Interface, LTZ 1380548 R2A, pág 115-119
- [3] Ericsson AB, 2012 LTE L12 Air Interface, LTZ 1380548 R2A, pág 45

CAPÍTULO IV

IV Sistemas de Radio – Fibra – Óptica

Objetivo

Este capítulo está dedicado al sistema RoF “*Radio-Fibra-Óptica*” y sus bloques de construcción. El sistema RoF juega un papel muy importante en las comunicaciones inalámbricas, debido al enorme crecimiento de los usuarios, en sus diferentes aplicaciones, en tecnología móvil a la mayor transferencia de datos que requieren mayor ancho de banda. Además los sistemas RoF son una solución alternativa cuando los sistemas de comunicaciones inalámbricas operan a un tamaño de células muy pequeñas, donde las frecuencias utilizadas por las portadoras son muy grandes y no pueden ser manejadas por cable coaxial (cobre) .

4.1.- Introducción al Sistema Radio-Fibra-Óptica

A principios de la década de 80's, Estados Unidos presentó la integración de la tecnología inalámbrica y fibra óptica para dar cabida a las necesidades militares, tales como sistemas de radar, donde la fibra óptica se ha utilizado como una interfaz entre la MSC y la antena inalámbrica. Las interfaces convencionales para transportar señales de RF eran cables de cobre y guías de onda, que inducían altas pérdidas de potencia en las señales. Una de las grandes ventajas de la fibra óptica, es que la pérdida es mucha más baja y tiene un gran ancho de banda. Esto la hace una interfaz alternativa muy eficiente como canal de información.

La aplicación de fibra óptica en los sistemas de radar es conocida como RoF, donde Cooper [1], fue quien adoptó inicialmente esta abreviación para las comunicaciones inalámbricas y móviles, utilizando este medio de transporte.

Estos requisitos pueden satisfacerse mediante la utilización de la fibra óptica ya que ofrece un gran ancho de banda de hasta 50-THz. Además, el sistema RoF es también conocida por su aplicación en coberturas de centrales MSC para las aplicaciones inalámbricas [2].

Este escenario se podría lograr extendiendo el enlace de transmisión entre la MSC y las estaciones base BS para llevar el acceso de red a todos los usuarios como lo muestra la Figura 4.1 que utilizan la red móvil. Alguna de las aplicaciones importantes en las que se ha utilizado el sistema RoF se llevaron a cabo en los juegos olímpicos del año 2000 en Sydney, donde transmitían desde la estación Osaka en Japón al centro comercial Bluewater en el Reino Unido.

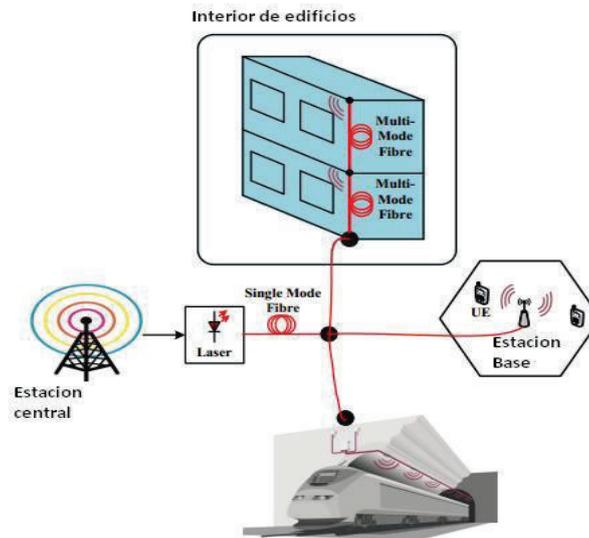


Figura 4.1 Sistema de RoF Utilizando Antenas Distribuidas

4.2.- Descripción Sobre Radio- Fibra Óptica

Una explicación simple para el sistema RoF es que se conecta de una MSC a muchas BS mediante la realización la señal de enlace descendente de MSC a BS, esto para su transmisión a los usuarios móviles a través de la conectividad inalámbrica mientras que al mismo sistema de RoF al mismo tiempo también transporta la señal de enlace ascendente de los usuarios móviles de nuevo a la MSC a través de la estación base.

La importancia de la topología del sistema RoF es que puede transmitir directamente señales de RF sobre las mismas fibras ópticas sin ningún otro proceso dentro de las estaciones centrales. Todo el procesamiento y funciones de señales se mantienen dentro de la misma área [3], por lo tanto introducen directamente reducciones en los costos de las amplias instalaciones y mantenimiento a los sistemas a comparación de otros medios de transmisión convencionales existentes.

También por su gran manejo y flexibilidad se puede manipular para cubrir áreas o zonas muertas, esto como solución a las áreas donde el sistema celular no tenga cobertura. La Figura 4.1 muestra como está conectado un sistema RoF, donde la señal se distribuye a zonas donde las celdas celulares no penetran, esto con ayuda de equipos y división pasiva, es decir, la transmisión Tx en la construcción y en el túnel.

Por otro lado, también existen arquitecturas de comunicación mediante fibra óptica, llamadas, frecuencia intermedia del sistema sobre fibra “*IF*” y la banda base del sistema de fibra óptica, generalmente es utilizada la frecuencia intermedia del sistema de fibra óptica cuando el sistema opto-electrónico de los dispositivos en la estación central es insuficiente para apoyar las señales con un nivel alto de frecuencia en las señales portadoras. Sin embargo, el sistema IF aumenta la complejidad de las estaciones base.

Desde el origen la señal RF se convierte a una frecuencia en rangos de frecuencia IF en la central, cuando la señal alcanza la estación base, se requiere de un convertidor para transmitir esta señal a inalámbrica, por lo tanto esta arquitectura no es muy utilizada en los sistemas de radio comunicación debido a su complejidad dentro de la MSC y BS [4].

El sistema de banda base sobre fibra óptica es una arquitectura que podría ser utilizada como una alternativa a RoF, los dispositivos opto-electrónicos para transmisión de esta arquitectura han madurado con el paso del tiempo y por lo tanto han ofrecido menor complejidad para las estaciones centrales. Sin embargo, la complejidad en la estación base aumenta significativamente ya que la mayoría de la comunicación móvil funciona a altas frecuencias, lo que requiere de componentes de mayor costo para la conversión de señales tanto ascendentes como descendentes, para la transmisión a los usuarios y entrega a las centrales [5].

Puesto que la complejidad se acumula en la estaciones base, el sistema no es adecuado, por lo tanto el sistema RoF sigue siendo aun mejor tanto en costos y beneficio para la solución de zonas muertas, como para la cobertura celular.

4.3.- Sistema Típico de Radio-Fibra Óptica

En la Figura 4.2 se observa un diagrama sencillo full dúplex, se muestra la comunicación básica entre la MSC y la BS. La MSC recibe los datos electrónicos mediante la funcionalidad “*dowlink*” o enlace descendente la cual proviene de una red central. La señal de “*uplink*” o enlace ascendente convierte a la frecuencia requerida para la transmisión inalámbrica, y posteriormente la modulación hacia un láser, adoptando la modulación de intensidad “*IM*”. A esta operación se le conoce como conversión eléctrico-óptica.

La señal óptica modulada se acopla a un medio de transmisión de fibra simple monomodo para la transmisión de la BS. El receptor es un foto-detector opto-electrónico para la conversión eléctrica. Posteriormente se transmite la señal (fotocorriente) a los usuarios móviles a través de una antena.

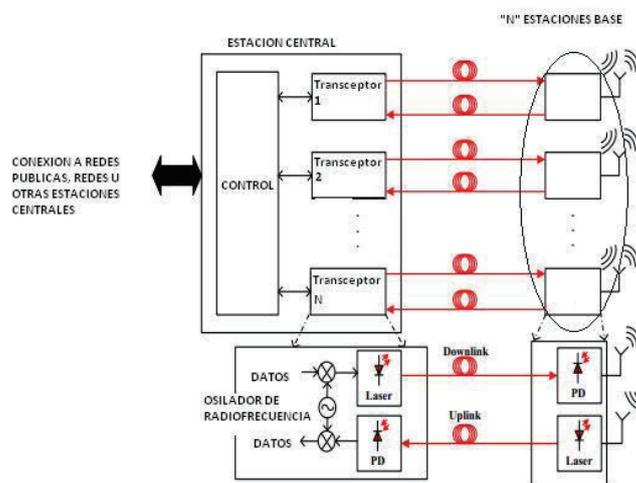


Figura 4.2 Descripción de Diagrama de Radio-Fibra Óptica

4.4.- Aplicaciones de Radio-Fibra Óptica

El sistema de RoF sólo se consideraba como un enlace de distribución de señal analógica. Algunas de las investigaciones comerciales conocidas que utilizan sistemas de RoF analógicas se aplican en las áreas de comunicaciones móviles anteriores, que son las tecnologías GSM y UMTS. El primer sistema de fibra monomodo que se usó para la interconexión y largas distancias, fue introducida por la empresa Andrew Corporation [6].

En cuanto a las aplicaciones en interior de construcciones un sistema de RoF de fibra multimodo fue presentado por la empresa Zinwave [7]. LGCWIRELESS [8] y ADC [9].

La investigación sobre la integración de la comunicación móvil y el sistema RoF fue principalmente enfocada a los trabajos con límites de potencia. Dichos trabajos previos a la investigación se llevaron a cabo con la funcionalidad de la interferencia de la comunicación móvil de GSM [10,11]. Respecto al sistema de acceso múltiple por división de código de ancho de banda (WCDMA) y WCDMA con WLAN respectivamente.

El canal tradicional para un sistema RoF está utilizando una fibra de tipo monomodo por su baja atenuación y su alto ancho de banda, ya que las señales típicas de RF están diseñadas para una banda estrecha, por lo tanto la fibra de tipo monomodo o también llamada SMF puede proporcionar un canal ideal con niveles bajos de pérdida y distorsión.

Por otro lado, la fibra de tipo multimodo, o MMF, tiene un nivel más alto de atenuación debido a su dispersión modal, tiene un efecto más fuerte en la señal que se propaga, el tipo MMF es un poco más limitado a utilizar. Por su ancho de banda limitado pueden llegar a ser utilizadas para transmisión en distancias de menos de 300 mts. [12]

4.5.- Métodos de Transmisión y Modulación Óptica

Como anteriormente se ha explicado, el sistema RoF es conocido por el sistema de cobertura que tiene mediante la modulación de intensidad directa, por medio de un diodo láser o por medio de una modulación de intensidad externa. Este último método puede ser instantáneo o por modulación de fase “*PM*” y es más adecuado utilizarlo para velocidades de datos mucho más altas.

El láser es el elemento más importante de un sistema RoF, ya que podría ser el transmisor óptico o servir como un portador óptico para modulaciones externas. Las longitudes de onda de funcionamiento prominentes del diodo láser son de 1300nm y 1550nm. [13].

Referencias Capitulo IV

- [1] H. Al-Raweshidy and S. Komaki, Radio over Fiber Technologies for Mobile Communications Networks: Artech House, Incorporated, 2002
- [2] T. Jia, S. Zheng, X. Zhang, X. Jin, X. Ai, and J. Xu, "Characteristics of radio transmission over polymer optical fiber for indoor wireless coverage," Optics Communications, vol. 264, pp. 142-147, 2006.
- [3] T. Jia, S. Zheng, X. Zhang, X. Jin, X. Ai, and J. Xu, "Characteristics of radio transmission over polymer optical fiber for indoor wireless coverage," Optics Communications, vol. 264, pp. 142-147, 2006.
- [4] A. Nirmalathas, C. Lim, D. Novak, and R. Waterhouse, "Progress in millimeterwave fiber-radio access networks," Annals of Telecommunications, vol. 56, pp. 27-38, 2001.
- [5] A. Nirmalathas, C. Lim, D. Novak, and R. Waterhouse, "Progress in millimeterwave fiber-radio access networks," Annals of Telecommunications, vol. 56, pp. 27-38, 2001.
- [6] <http://www.andrew.com>. (08/10, 2012).
- [7] <http://www.zinwave.com>. (08/10, 2012).
- [8] <http://www.lgcwireless.com>, (08/10, 2012).
- [9] <http://www.adc.com>. (08/10, 2012).
- [10] R. E. Schuh, "Hybrid fiber radio for second and third generation wireless systems," in Microwave Photonics, 1999. MWP '99. International Topical Meeting on, 1999, pp. 213-216 vol.1

- [11] R. Yuen and X. N. Fernando, "Enhanced Wireless Hotspot Downlink Supporting IEEE802.11 and WCDMA," in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium on, 2006, pp. 1-6.
- [12] P. Hartmann, Q. Xin, A. Wonfor, R. V. Penty, and I. H. White, "1-20 GHz Directly Modulated Radio over MMF Link," in Microwave Photonics, 2005. MWP 2005. International Topical Meeting on, 2005, pp. 95-98.
- [13] A. J. Antos and D. K. Smith, "Design and characterization of dispersion compensating fiber based on the LP₀₁ mode," Lightwave Technology, Journal of, vol. 12, pp. 1739-1745, 1994.

CAPÍTULO V

V Demostración del Sistema LTE al Sistema Híbrido de Radiofrecuencia y Fibra Óptica

Objetivo

El objetivo de este capítulo es comprobar el correcto funcionamiento de la transmisión de video mediante un sistema híbrido de radio frecuencia y fibra óptica. Para poder realizar dicho experimento se utilizan tres señales que abarcan el ancho de la banda base de la tecnología anteriormente mencionada, es decir (1900, 2000, 2100 Hz). El proceso experimental que se describe tiene una etapa de modulación y demodulación como cualquier otro proceso de comunicación digital.

5.1.- Introducción del Sistema LTE y al Sistema Híbrido de Radiofrecuencia y Fibra Óptica

Como en capítulos anteriores, se ha mencionado que la tecnología de telecomunicaciones que opera actualmente en nuestro México es la llamada tecnología móvil 4G o LTE y opera en una banda base que va desde los 1900 a los 2100MHz.

Esta tecnología ha evolucionado gracias a la demanda de los usuarios para la transmisión de datos en sus equipos móviles, otra de las grandes ventajas que ofrece esta generación es la transmisión de video digital.

A continuación se describirán los equipos y procesos con los cuales se trabajó para poder comprobar que, efectivamente, en la banda base que transmite LTE, se utiliza una frecuencia de 1900, 2000 y 2100 MHz.

5.2.- Descripción de Equipos Utilizados en Sistema Experimental

Como base primordial del esquema experimental propuesto se utilizó un láser tipo DFB “*distributed feedback laser*” marca Amonics. Dicho láser cuenta con un sistema de retroalimentación. Es un tipo de láser en el cual la región activa del dispositivo está estructurada periódicamente con una rejilla de difracción, la estructura construye una rejilla de una interferencia dimensional y la rejilla proporciona realimentación óptica para el láser. Este mismo haz de luz fue transmitida por una fibra tipo monomodo, está por sus grandes características.

En la Figura 5.1 se ilustra el diagrama que se utilizó para el estudio del sistema híbrido de radio frecuencia. El sistema consiste de un diodo laser DFB (monomodo), el cual se conecta directamente a un control de polarización con el objetivo de mantener un estado de polarización fijo. La salida del control de polarización, se conecta a un aislador óptico para garantizar que el haz transmitido se propague en la dirección marca la flecha, evitando la propagación en sentido contrario así eliminar los fenómenos de auto-modulación que pueden distorsionar el perfil espectral del haz laser. Posteriormente el haz se envía a un

modulador de intensidad electroóptico. La interacción de una señal de RF con información de video, permite que a la salida del modulador se obtenga un haz óptico modulado en intensidad, el cual posteriormente se propaga por fibra óptica. El proceso de recuperación de la señal de información se realiza mediante el uso de un foto-detector configurado en el modo detección directa. Finalmente la señal recuperada se despliega en monitor de TV.

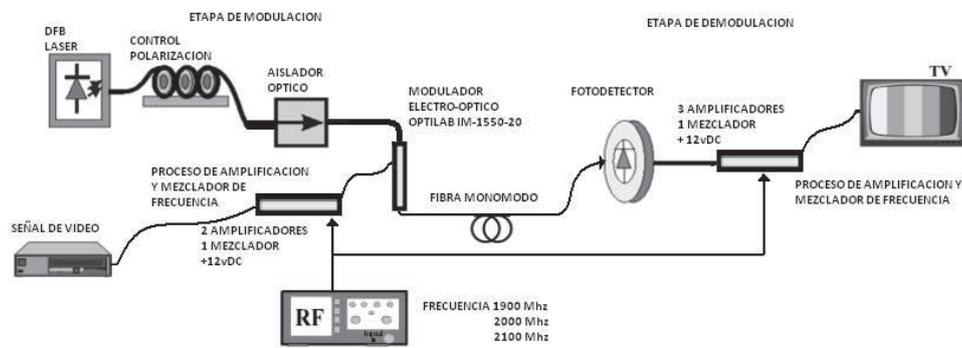


Figura 5.1 Diagrama del Sistema Híbrido de Radio Frecuencia y Fibra Óptica

En la Figura 5.2 se muestra una fotografía del esquema experimental que se armó en el laboratorio. Se observan los bloques: aislador óptico, control de polarización, modulación electro-óptica, fibra óptica, bloque de demodulación electro-óptica y los diferentes instrumentos que se utilizaron en la configuración del experimento.

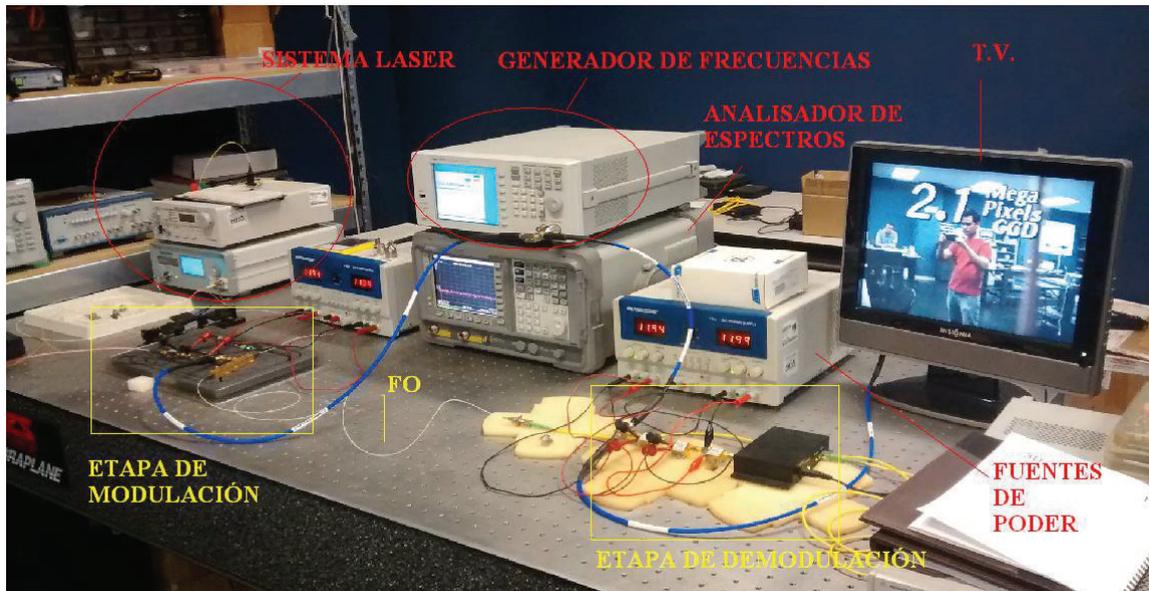


Figura 5.2 Fotografía de los equipos utilizados en el laboratorio

5.2.1.- Tipos de Fibras Multimodo y Monomodo

Se pueden realizar diferentes clasificaciones acerca de las fibras ópticas, pero básicamente existen dos tipos: fibra multimodo y monomodo, en la Figura 5.3 se muestran una imagen con las características y medidas de dichas fibras.

Fibras multimodo. El término multimodo indica que pueden ser guiados muchos modos o rayos luminosos, cada uno de los cuales sigue un camino diferente dentro de la fibra óptica. Este efecto hace que su ancho de banda sea inferior al de las fibras monomodo. Sin embargo las fibras multimodo se utilizan para comunicaciones en pequeñas distancias.

Las fibras monomodo a diferencia de las fibras multimodo El diámetro del núcleo de la fibra es muy pequeño y sólo permite la propagación de un único modo o rayo (fundamental), el cual se propaga directamente sin reflexión. Este efecto, causa que su ancho de banda sea muy elevado, por lo que su utilización se suele reservar a grandes distancias, superiores a 10 Km, junto con dispositivos (LÁSER).

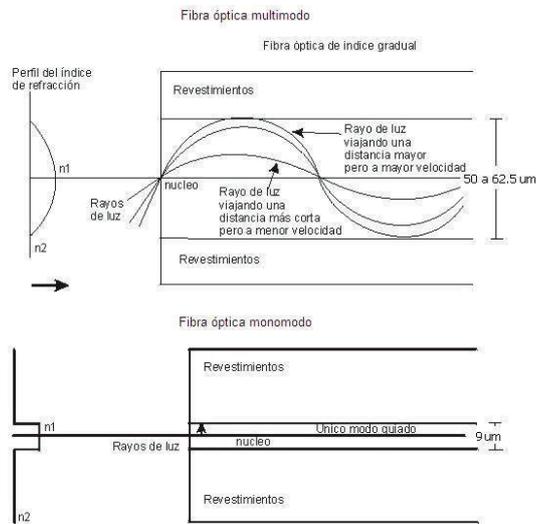


Figura 5.3 Representación Física de Fibra Óptica Multimodo y Monomodo

En la Figura 5.4 se muestra la imagen del láser que se utilizó en este trabajo de tesis. Se observa en la ilustración que el dispositivo se encuentra activo y está entregando una corriente de 50mA, esto permite garantizar que la emisión del láser se ubique en la región lineal, muy por encima del umbral de su curva característica. Por otra parte en la Figura 5.5 se observa el espectro de emisión resultante del láser en escala lineal. El espectro se ubica a una longitud de onda de 1552nm. En la Figura 5.6 se observa el mismo espectro del láser, pero a escala logarítmica. En esta figura se muestran modos adyacentes al perfil de emisión principal que son características físicas de la fuente óptica, y que en esta escala es más fácil de observar. Es importante resaltar que los espectros fueron obtenidos con un analizador de espectros óptico marca ANRITSU modelo MS59710C.



Figura 5.4 Equipo Amonics Tipo DFB

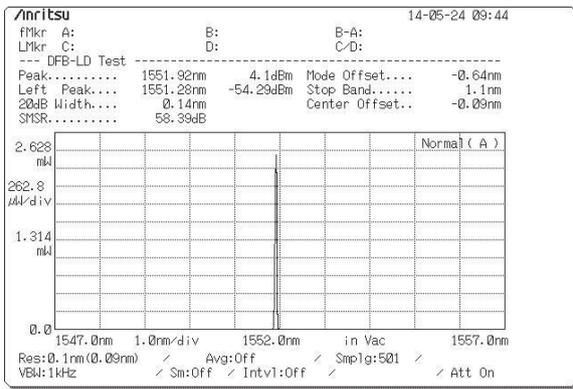


Figura 5.5 Espectro Laser Escala Linean Fibra Monomodo

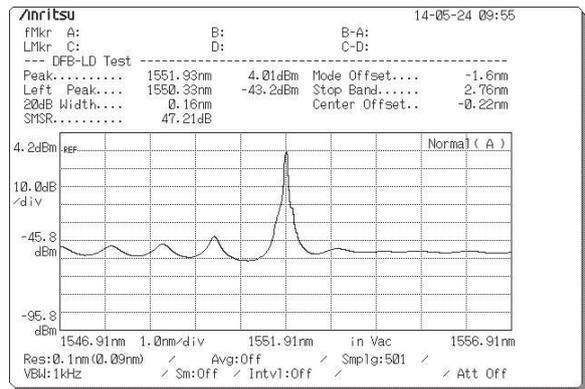


Figura 5.6 Espectro Laser Escala Logarítmica Fibra Monomodo

5.2.2.- Aislador Óptico y Control de Polarización

Aislador óptico

Este dispositivo se utiliza dentro de los enlaces de fibra óptica, permite la propagación de la luz en una sola dirección (de izquierda a derecha como se indica en la Figura 5.7, con una pérdida mínima de la luz reflejada en el sentido inverso, dependiendo del diseño, la señal óptica reflejada tiene un valor de atenuación de 40 a 70 dB [1].

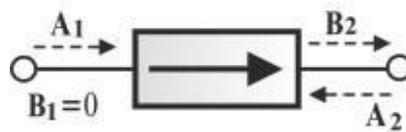


Figura 5.7 Diagrama Aislador Óptico

Control de polarización

Este dispositivo de control de polarización nos sirve para cambiar el estado en que se esté polarizando la luz del láser. En la Figura 5.8 se muestra un esquema que corresponde básicamente en un arreglo con una fibra de tipo monomodo que cruza tres placas, la fibra se hace pasar por un primer plato de izquierda a derecha dándole un giro en el primer plato, dos en el segundo y una de nuevo en el tercer plato. Para una longitud de onda en particular, los cambios de fase se dan aplicando una tensión a la fibra óptica y por consecuencia se crea un índice de refracción birrefringente, este mismo es en función del material del cual esta hecha la fibra óptica y su revestimiento. [2]

La longitud de onda está definida por:

$$\Delta n = \alpha(r / R)^2$$

Donde α es un parámetro relacionado con el material de las fibras ópticas, r es el diámetro del revestimiento de la misma y R es el diámetro del plato de control de polarización definido.

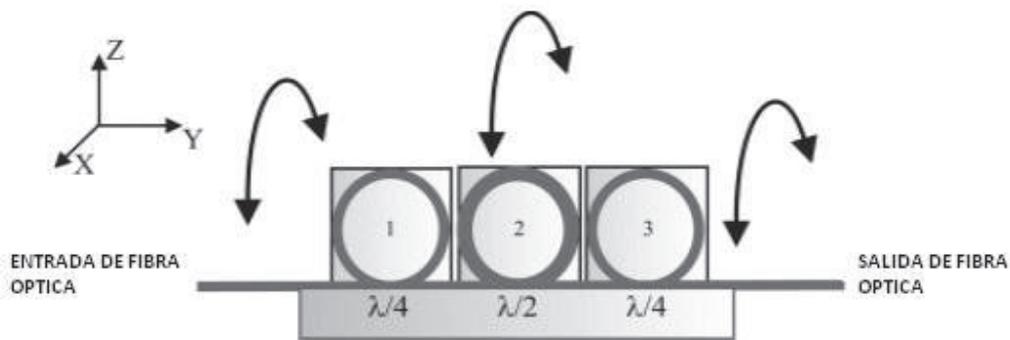


Figura 5.8 Diagrama de Control de Polarización

5.3.- Técnicas Ópticas de modulación

La modulación en un sistema de comunicación óptico es el proceso de imprimir información sobre una portadora óptica. Se puede modular la intensidad, la fase y la polarización de un haz de luz. El formato de modulación puede ser analógico o digital, dependiendo de las características del sistema, de las fuentes y los detectores, así como del medio de transmisión [3]. Las dos razones principales por las cuales es necesario modular son: adecuar las señales al medio de transmisión y aprovechar el gran ancho de banda.

Para que un sistema óptico pueda utilizarse para transportar información de un punto a otro es necesario modular la intensidad de la luz que proviene de la fuente óptica, esto se puede lograr mediante [4]: modulación directa y modulación externa.

La modulación directa se realiza cuando se varía la corriente de inyección en la fuente óptica, que es proporcional a la amplitud de una señal eléctrica.

La modulación externa consiste en la variación de las características de la fuente óptica, ya sea la intensidad o la fase, utilizando moduladores electro-ópticos (EOMs) en tecnología de óptica integrada. A continuación se muestran las principales características de cada una de ellas.

5.3.1- Modulación Directa

La Figura 5.9(a) muestra un esquema de modulación directa, donde una señal de RF es utilizada para controlar de manera directa la corriente aplicada a una fuente óptica.

En la Figura 5.9 (b) se ilustra de manera más detallada un circuito eléctrico (controlador) que realiza la modulación. Para que la luz sea modulada, el controlador convierte proporcionalmente el voltaje de la señal de RF en un flujo de corriente que se aplica a la fuente óptica [5], obteniéndose de esta manera un haz luminoso modulado en intensidad.

Las ventajas de este esquema son su fácil implementación y bajo costo, mientras que su desventaja es la modulación a velocidades por debajo de los 10 Gbps.

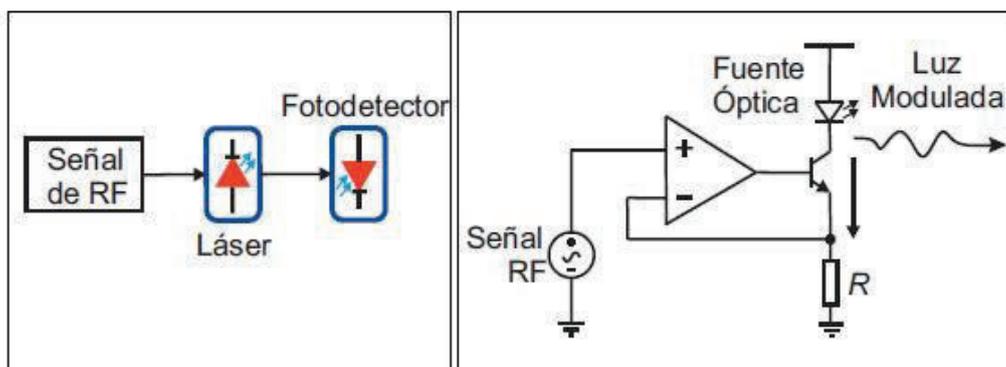


Figura 5.9 (a) Modulación directa

(b) Diagrama eléctrico Modulación Directa

5.3.2 Modulación Externa

La Figura 5.10 corresponde a un esquema básico de un sistema de comunicación óptico a modulación externa. Esta técnica emplea moduladores electro-ópticos de óptica integrada.

Bajo este esquema, la fuente óptica es polarizada con una corriente de CD y el haz de luz generado se inyecta al EOM a fin de ser modulado por una señal de RF. La principal característica de los EOM es su alta velocidad de operación [6, 7].

Si bien es cierto que el costo de esta técnica se incrementa con respecto a la modulación directa; se obtienen beneficios tales como incremento en la velocidad de modulación (mayor a los 10 Gbps), y enlaces con mayor distancia de transmisión [8, 7].

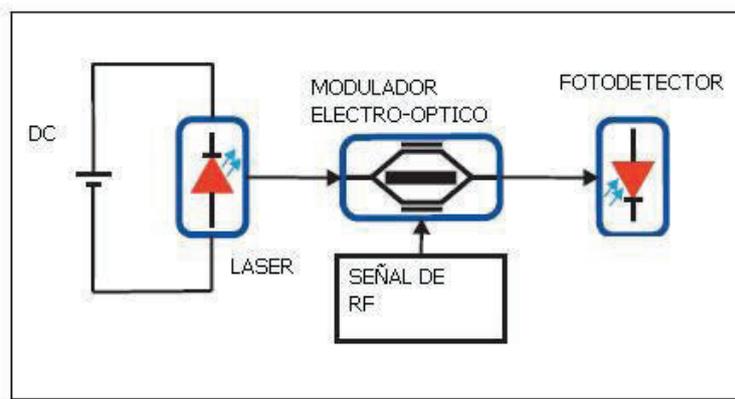


Figura 5.10 Esquema Modulador Externo

5.4.- Modulador Electro-Óptico

La modulación electro-óptica, es un proceso en el cual una señal óptica se modifica en cualquiera de sus parámetros, tales como intensidad, fase o polarización, para ser transmitida en un sistema de comunicación óptico, para esto existen dos técnicas de

modulación, mencionadas anteriormente que son: la modulación directa y externa, en nuestro proyecto se utilizó esta última. [9]

La modulación electro-óptica se componen de los elementos que se muestran en la Figura 5.11.

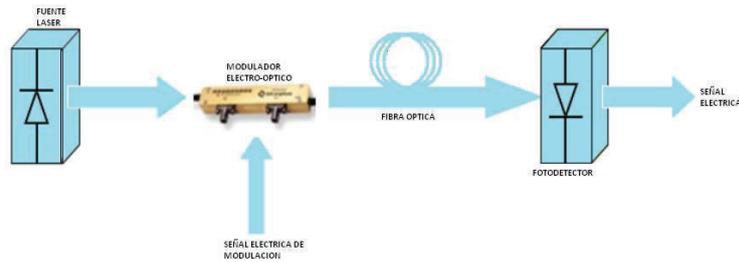


Figura 5.11 Diagrama Sistema Electro-Óptica

Para realizar la modulación externa, existen dispositivos fabricados bajo técnicas de óptica integrada, donde su funcionamiento es basado en el efecto electro-óptico

A continuación se tiene la figura 5.12 donde se observa como está compuesto un modulador electro óptico.

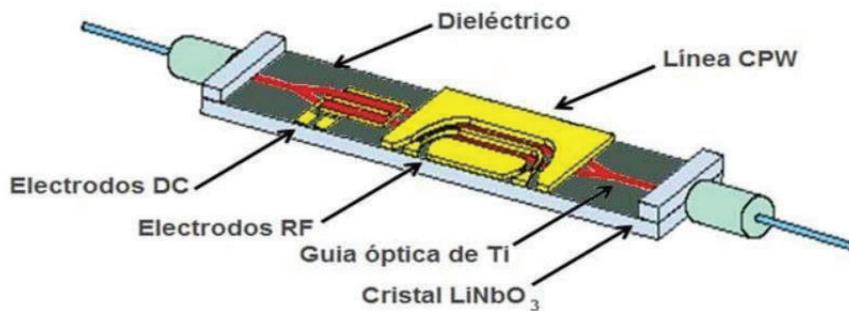


Figura 5.12 Esquema de Fabricación de un Componente Electro Óptico

Ti difundido en LiNbO₃

El titanio “Ti” difundido en niobato de litio “LiNbO₃” forma la guía óptica en el modulador, dicha difusión permite que varíe el índice de refracción del titanio conforme penetra en el substrato de manera no lineal.

Línea coplanar CPW

Es una de las configuraciones de electrodos utilizada para la modulación electro- óptica. Las dimensiones de éstos y el tipo de material, determina la impedancia característica de la línea. Los electrodos de este tipo ayudan en la etapa de la modulación del proceso experimental, en esta etapa la señal de video es acoplada con la señal de RF, misma que es utilizada como portadora, después es introducida al modulador para poder transmitir la información a las diferentes frecuencias que se utilizan, teniendo como medio de transporte la fibra óptica monomodo, previamente descrita, para posteriormente pasar al proceso de demodulación, el cual requiere de otros tipos de instrumentos para poder volver a tener la información original.

5.5.- Demodulación

El término demodulación engloba el conjunto de técnicas utilizadas para recuperar la información transportada por una onda portadora, que en el extremo transmisor había sido modulada con dicha información. Así, en cualquier sistema de telecomunicaciones normalmente existirá al menos una pareja modulador-demodulador. El diseño del demodulador dependerá del tipo de modulación empleado en el extremo transmisor.

En la Figura 5.13 se da a conocer la parte experimental en donde se pueden observar que la señal que es transmitida mediante la fibra óptica es recibida, por un elemento foto-detector, posteriormente pasa al proceso de amplificación, para así poder recuperar la información.

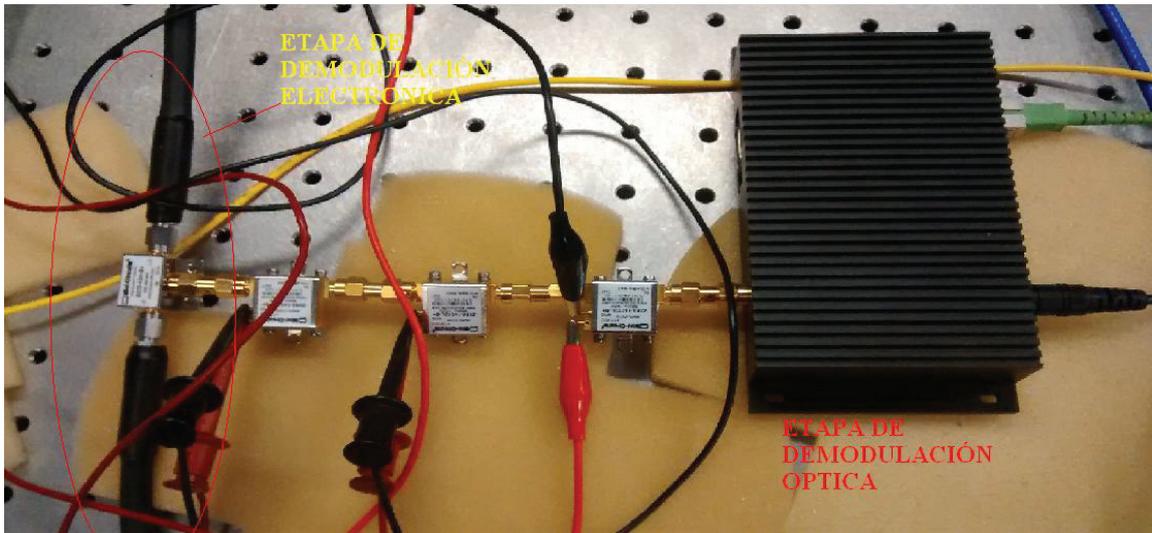


Figura 5.13 Esquema Físico de Demodulación Optoelectrónica

5.5.1.- Foto-detector

La definición básica de un foto-detector radica en su funcionamiento como transductor de luz que proporciona una señal eléctrica como respuesta a la radiación óptica que incide sobre la superficie sensora. Existen dos tipos fundamentales de detectores de luz, los térmicos y los fotónicos que operan con mecanismos de transducción diferentes.

Los detectores térmicos absorben (detectan) la energía de los fotones incidentes en forma de calor con lo que se produce un incremento en la temperatura del elemento sensor que implica también un cambio en sus propiedades eléctricas, como por ejemplo la resistencia. El cambio en esta propiedad eléctrica en función del flujo radiante recibido es lo que permite su medición a través de un circuito exterior. La mayoría de esta clase de foto-detectores son bastantes ineficientes y relativamente lentos como resultado del tiempo requerido para cambiar su temperatura, lo que les hace inadecuados para la mayor parte de las aplicaciones fotónicas.

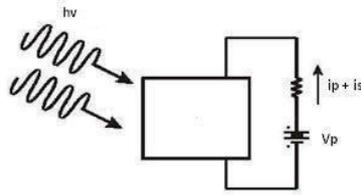


Figura 5.14 Diagrama Fotodetector

Los detectores fotónicos no utilizan la energía del fotón en forma de calor, sino que la invierten para incrementar la energía de sus portadores de carga, con lo que se modifican las propiedades de conducción eléctrica de los sistemas detectores en función del flujo de fotones recibido. Este proceso de conversión implica la transformación de los fotones incidentes en electrones, pero esta respuesta simple no tendría ninguna relevancia si esos electrones no se ponen en movimiento para generar una corriente, que es la magnitud que realmente se pueden medir, para ello en ocasiones hay que aplicar un campo eléctrico. [10]

5.6.- Resultados Experimentales

Como resultado exitoso de las pruebas de laboratorio sobre los sistemas de LTE en esquemas híbridos de radio frecuencia y óptica, a continuación se anexan las imágenes donde se puede observar el estudio de los espectros obtenidos a las frecuencias anteriormente mencionadas, utilizadas como señal portadora y a su vez, el espectro de la información que viaja por ella, teniendo un resultado de muy buena calidad, después de todo el proceso de modulación y demodulación y sus respectivos instrumentos anteriormente mencionados.

En este trabajo se pudo comprobar que, efectivamente, en la frecuencia con la que trabaja la tecnología LTE México es factible la transmisión de video en tiempo real, siendo un medio de transporte la fibra óptica monomodo, la cual es más viable por las grandes distancias que se tienen que recorrer, la perspectiva a futuro, utilizando este método es la transmisión de

audio y video, así que se puedan enlazar las llamadas de VoIP entre dispositivos, utilizando el ancho de banda de los 1900 a 2100 MHz, la cual es la frecuencia de operación de dicha tecnología celular pionera en nuestro país. A continuación la Figura 5.15 muestra los espectros de la señal portadora. Se observan tres espectros ubicados en 1900 MHz, 2000 MHz y 2100 MHz los cuales coinciden con aquellos que operan en la tecnología LTE. Estos espectros fueron generados con el generador de RF (Agilent N9310A). Por otro lado en la Figura 5.16 se muestran tres espectros que contienen información de video mezclada con las portadoras de información descritas anteriormente. Las señales mezcladas fueron transmitidas y recuperadas satisfactoriamente sobre el sistema de radiofrecuencia y fibra óptica.

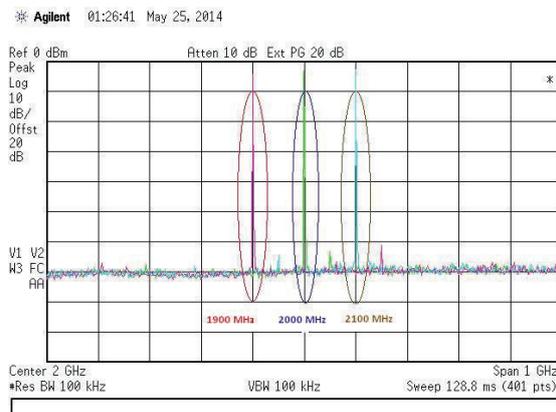


Figura 5.15 Espectro de la Señal Portadora

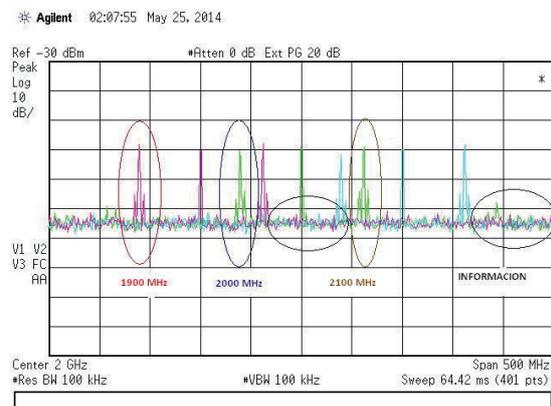
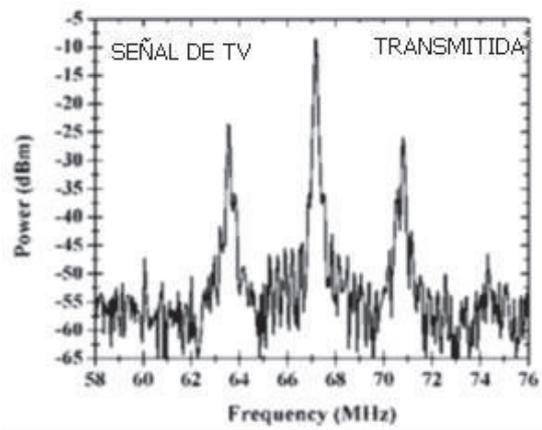
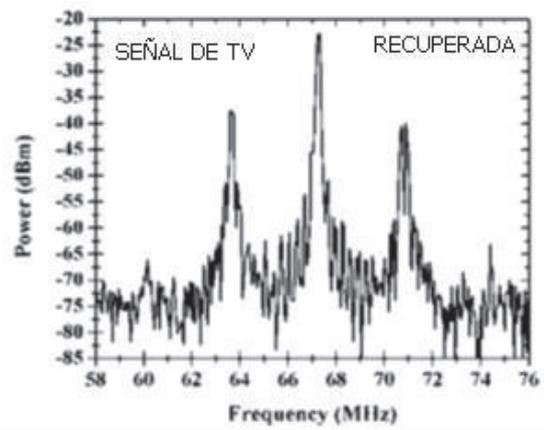


Figura 5.16 Espectro de la Señal con Información

Finalmente en la Figura 5.17, se observan los espectros de transmisión y recepción de una señal de TV en la banda de LTE. La Figura 5.17(a), corresponde a la señal transmitida y la Figura 5.17 (b) corresponde a la señal recuperada. La relación señal a ruido de la señal (SNR) recibida en un ancho de banda de 6 MHz fue de 46.5 dB. Valores de SNR superiores a 45 dB garantizan buena calidad en la imagen [11].



(a)



(b)

Figura 5.17 Señales de TV (a) transmitida (b) recuperada

Referencias Capítulo V

- [1] Jha, A.R. State of the Art Fiber Optic Components and Photonic Devices for Optical Communication and High Speed Transmission. 31st European Microwave Conference, 2001.
- [2] Donald K. Wilson. Polarization control aids fiber component testing. Lasers Focus World 1997; pp. 129 –133.
- [3] Philip J. Cianci, “*HDTV and the Transition to Digital Broadcasting Understanding View Television Technologies*”, Elsevier Inc., 2007, chapter 1-2.
- [4] “*A/53: ATSC Digital Television Standard, Parts. 1-6 2007*”, Advanced Television Systems Committee, Inc, 2007.
- [5] Henry Zanger and Cynthia Zanger, *Fiber optics, communications and other applications*”, MacMillan Publishing Company, New York 1999, pp. 42-47, 204-210.
- [6] K. Thyagarajan Ajoy Ghatak, “*Fiber Optic Essentials*”, A, John Wiley & Sons, Inc., Publications, 2007, pp. 9-17, 28-51, 55-61.
- [7] Mohammad Azadeh, “*Fiber Optics Engineering*”, Springer, 2009, pp. 10-18, 114-116, 127-142, 209, 221-229.
- [8] V. Heikkinen, T. Alajoki, E. Juntunen, M. Karppinen, K. Kautio, J-T. Makinen, J. Ollila, A. Tanskanen, J. Toivonen, R. Casey, S. Scott, W. Pintzka, S. Thériault, I. McKenzie, “*Fiber-Optic Transceiver Module for High-Speed Intrasatellite Networks*”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 25, No. 5, may 2007

- [9] Ing. Rubio Quintero Paul, Dr. I.E. Zaldivar (INAOE), Dr. J. Asomoza (UDLA), “Desarrollo de una herramienta en matlab para el análisis de moduladores electro-opticos de óptica integrada” pp. 4-6
- [10] <http://www.infoab.uclm.es/labelec/solar/otros/infrarrojos/fotodetectores.htm>
- [11] Alejandro García Juárez, Ignacio Enrique Zaldívar Huerta, Jorge Rodríguez Asomoza and María del Rocío Gómez Colín, “Photonic Components for Analog Fiber Links” DOI: 10.5772/48416

CAPÍTULO VI

VI Conclusiones Generales y Perspectivas a Futuro

Las tecnologías inalámbricas están teniendo mucho auge y desarrollo en éstos últimos años, una de las que han tenido gran desarrollo ha sido la telefonía celular, desde sus inicios finales de los 70s ha revolucionado enormemente las actividades que realizan diariamente las personas. Los teléfonos celulares se han convertido en una herramienta primordial para la gente común y de negocios, las hace sentir más seguras y las vuelven más productivas.

A pesar de que la telefonía celular fue concebida para voz únicamente, debido a las limitaciones tecnológicas de esa época hoy en días capaz de brindar otro tipo de servicios tales como datos, audio y video con algunas limitaciones, pero la telefonía celular inalámbrica del mañana hará posible aplicaciones que requieran un mayor consumo de ancho de banda, con lo cual los dispositivos serán capaces de soportar mayores tasa de transferencia.

En un futuro se pretende que toda las tecnologías que actualmente se manejan en nuestro país sean sustituidas por la tecnología LTE ya que esta misma nos ofrecerá una calidad muchísimo mayor tanto en transferencia de datos como en llamadas de voz, ya que estas últimas tendrán un nivel de calidad muchísimo mayor a las ya obtenidas. También se espera que se puedan tener transferencia o descargas de archivos como lo son imágenes, canciones o videos en un tiempo estimado de 6 a 30 segundos por archivo.

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| 2.1 Diagrama sistema full dúplex..... | 11 |
| 2.2 Diagrama Radio Telefonía Móvil Celular..... | 12 |
| 2.3 Arquitectura RAN GSM..... | 15 |
| 2.4 Arquitectura UTRAN..... | 16 |
| 2.5 Conexiones de la Tecnologías..... | 20 |
| 2.6 Conexiones de Interfaces en E-nodeB (EPS)..... | 20 |
| 2.7 Tecnología OFDMA (DL)..... | 22 |
| 2.8 Capa Física LTE UPLINK (SC-FDMA)..... | 22 |
| 3.1 Arquitectura de las Tecnologías..... | 26 |
| 3.2 Tabla Comparativa de las Tecnologías..... | 30 |
| 4.1 Sistema de RoF Utilizando Antenas Distribuidas..... | 34 |
| 4.2 Descripción de Diagrama de Radio-Fibra Óptica..... | 36 |
| 5.1 Diagrama del Sistema Híbrido de Radio Frecuencia y Fibra Óptica..... | 43 |
| 5.2 Fotografía de los equipos utilizados en laboratorio | 44 |
| 5.3 Representación Física de Fibra Óptica Multimodo y Monomodo..... | 45 |
| 5.4 Equipo Amonics Tipo DFB..... | 46 |
| 5.5 Espectro Laser Escala Linean Fibra Monomodo..... | 46 |
| 5.6 Espectro Laser Escala Logarítmica Fibra Monomodo..... | 46 |
| 5.7 Diagrama Aislador Óptico..... | 47 |
| 5.8 Diagrama de Control de Polarización..... | 48 |

| | |
|---|----|
| 5.9 (a) Modulación directa (b) Diagrama eléctrico Modulación Directa..... | 49 |
| 5.10 Esquema Modulador Externo..... | 50 |
| 5.11 Diagrama Sistema Electro-Óptico..... | 51 |
| 5.12 Esquema de Fabricación de un Componente Electro Óptico..... | 51 |
| 5.13 Esquema Físico de Demodulación..... | 53 |
| 5.14 Diagrama Foto-detector..... | 54 |
| 5.15 Espectro de la Señal Portadora..... | 55 |
| 5.16 Espectro de la Señal con Información..... | 55 |
| 5.17 Señal de TV (a) transmitida (b) recuperada..... | 56 |

Acrónimos

| | |
|--------|--|
| LTE | Long Term Evolution |
| BSN | Estación Base |
| RN | Reley Node (repetidores radio bases) |
| IMTS | Impreved Mobile Telephone system (sistema telefónico mejorado) |
| MS | Estación móvil |
| MSC | Central de Radio |
| RTPC | Red Telefonica Publica |
| AMPS | Advanced Mobil Phone System (sistema móvil avanzado) |
| D-AMPS | Digital Advanced mobil pone system (sistema digital móvil avanzado) |
| UE | Equipo del Usuario |
| CDMA | Multiplexación por División de Códigos |
| SMS | Mensajes cortos de Texto |
| GSM | Global System for Mobile Communication |
| MMS | Sistema de Mensajería Multimedia |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| EDGE | Enhanced Data Rates for GSM Evolution (tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM) |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System (sistema universal de telecomunicaciones móviles) |
| ITU | Unión Internacional de Telecomunicaciones |
| UTRAN | Acceso Universal a la Red Terrestre |

| | |
|---------|--|
| TDMA | Acceso Múltiple por División de Tiempo |
| EPS | Sistema de Paquetes Evolucionados |
| OFDM | Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales |
| MIMO | Sistema de Antenas de Múltiple Entradas y Múltiple Salidas |
| TTI | Intervalo de Tiempo de Transmisión |
| TB | Bloques de Transporte |
| DFT | Transformada Discreta de Fourier |
| FDD | División de Frecuencias Dúplex |
| IF | Frecuencia Intermedia |
| IM | Intensidad de Modulación |
| PM | Modulación de Fase |
| SMF | Fibra Óptica Monomodo |
| MMF | Fibra Óptica Multimodo |
| EOM | Modulador Electro-óptico |
| LiNbO3 | Niobato de Litio |
| TI | Titanio |
| VoIP | Voz por IP |
| OFDMA | Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal |
| SC-FDMA | Acceso Múltiple por División de Frecuencias de Portadora Única |