

INTEGRACIÓN ÓPTICO-INALÁMBRICA COMO SOLUCIÓN DE ACCESO DE TELECOMUNICACIONES.

José Dixán Berbén Cáser

Especialista "C", Grupo de Soporte. División Territorial ETECSA, Holguín.
Calle Vista Hermosa No.31 e/ 20 y 22. Rpto Alcides Pino. Holguín.
e-mail: dixan.berben@etecsa.cu

RESUMEN

Las redes de acceso de Telecomunicaciones se enfrentan hoy a un gran desafío. La demanda de servicios, tanto fijos como móviles es cada vez mayor. Las tecnologías tradicionales basadas en cobre se quedan por debajo de las expectativas y no ofrecen movilidad. Se necesita por tanto nuevas redes capaces de satisfacer los actuales retos. La integración de las tecnologías ópticas e inalámbricas brinda grandes posibilidades para el desarrollo de redes de acceso de nueva generación. En este tipo de red se aprovechan las ventajas de ambas tecnologías para conseguir una relación costo-beneficio eficiente. Por una parte el gran ancho de banda de la fibra óptica y por otra la penetración que logran las redes inalámbricas, han hecho de la solución híbrida óptica inalámbrica una variante muy atractiva para los proveedores de servicios. Esta solución puede ser un excelente método de acceso en entornos de baja infraestructura de telecomunicaciones. En el presente trabajo, se analizan algunas de las principales tecnologías involucradas en esta convergencia y sus arquitecturas típicas.

PALABRAS CLAVES: integración óptico-inalámbrica, PON, LTE, WiMax, RoF.

ABSTRACT

The telecommunications access networks face a big challenge today. The fixed and mobile services demand is increasing. Traditional copper-based networks are below expectations and not offer mobility. Therefore, new networks capable of meeting current challenges is required. The integration of optical and wireless technologies offers great possibilities for the development of next generation access networks. In this type of network the advantages of both technologies are exploited to achieve efficient cost-benefit relationship. On the one hand the high bandwidth of the optical fiber and other penetration that manage wireless networks have made hybrid wireless-optical network very attractive for service providers. This solution can be an excellent method in scenarios with poor telecommunications infrastructure. In this paper, some key technologies involved are discussed in this convergence and its typical architecture.

KEYWORDS: fiber-wireless, PON, LTE, WiMax, RoF.

INTRODUCCIÓN

La meta de Internet es ofrecer conectividad en cualquier momento, lugar y forma en que el cliente la necesite. Para alcanzar este objetivo, la red híbrida óptica-inalámbrica desempeña un importante papel. Las potencialidades de esta red radican en su capacidad de combinar las ventajas de ambas tecnologías. El despliegue de fibra óptica hacia cada hogar es un reto económico, aún en países desarrollados. Sin embargo, el empleo de fibra en el segmento primario de la red provee un gran ancho de banda al siguiente segmento. En la red híbrida óptica-inalámbrica, la última milla se alcanza mediante redes inalámbricas que si bien no admiten grandes anchos de banda, tienen, en cambio, un elevado nivel de penetración y costos razonables. Por tanto, se puede afirmar que ambas redes, son complementarias. Si se tiene en cuenta que las demandas de ancho de banda cada vez son mayores y que los proveedores tratan de hacerlo reduciendo los costos y aumentando la velocidad de despliegues puede predecirse que esta tecnología tendrá un despegue en el futuro próximo.

En Cuba queda mucho por hacer en materia de servicios de banda ancha. Es cierto que cualquier red de acceso tiene costos pero él no implementarlas también los tiene. En este sentido, es conveniente apostar por tecnologías que tengan buena aceptación internacional, sean rentables y a la vez capaces de proporcionar acceso de banda ancha a los usuarios. Son múltiples los escenarios en Cuba en que la infraestructura de telecomunicaciones en su forma tradicional, es decir, pares de cobre, no satisface las necesidades de los clientes. Una distribución de cobre desde la central hasta el abonado para implementar xDSL (*Digital Subscriber Loop*) es altamente costosa. La implementación de FTTx (*fiber_to_the_x*) podría reducir en alguna medida los costos pero aún en este caso sería necesaria una distribución de red secundaria basada en cobre. A continuación se proponen posibles soluciones de acceso basadas en tecnología híbrida con un buen campo de aplicación en escenarios de baja infraestructura de telecomunicaciones [1].

INTEGRACIÓN EPON-WiMAX.

EPON (Ethernet passive optical network) y WiMAX (Worldwide Interoperable for Microwave Access) son dos prometedoras tecnologías de acceso de nueva generación o NGA (Next Generation Access). La arquitectura integrada toma ventaja del ancho de banda de la fibra y la no necesaria línea de vista de las comunicaciones inalámbricas [2].

Hay varios aspectos que motivan esta integración. Primero, EPON y WiMAX manejan diferentes niveles de ancho de banda, EPON soporta 1Gb/s tanto en tráfico ascendente como descendente, compartido por un grupo que puede ser de 16 ONU's (*Optical Network Units*), como promedio cada ONU soporta un ancho de banda de 60 Mb/s, lo que combina con la capacidad total ofrecida por una Estación Base WiMAX que es de aproximadamente 70 Mb/s sobre canales de 20 Mhz. Segundo, la integración propicia una asignación integrada de ancho de banda para mejorar las características de tasa de transmisión y QoS (*Quality of service*) de la red. Tercero, la integración es un paso en la realización de la convergencia fijo-móvil, que proporciona simplificaciones en la red y reducción de costos de operación.

Arquitecturas.

Para la integración EPON/WiMAX se consideran básicamente cuatro arquitecturas (ver figura 1):

Arquitectura independiente.

La forma más simple e intuitiva de realizar la integración EPON-WiMAX. Como se muestra en la figura 1, se conecta directamente una BS (*Base Station*) WiMAX a una ONU EPON, puede considerarse como una arquitectura genérica. No es necesario satisfacer requisitos especiales en la interconexión de los dos sistemas mientras soporten una interfaz de red estándar, como la interfaz Ethernet [2].

La arquitectura independiente tiene el inconveniente de establecer una frontera física entre ambos sistemas, que no permiten a la ONU y la BS WiMAX compartir cualquier información de estado en tiempo real en su programación de paquetes descendente, así como las solicitudes de ancho de banda en el sentido ascendente. Además, dos equipamientos independientes pueden resultar más caros que un equipamiento integrado como se proponen en otras arquitecturas [2].

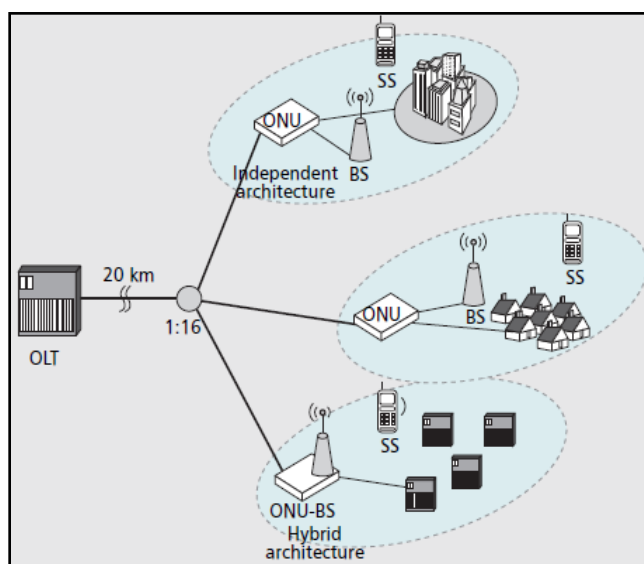


Fig. 1. Arquitecturas de integración EPON-WiMAX.

Arquitectura híbrida.

Es una arquitectura más avanzada pues se integra una ONU con una BS WiMAX en un mismo equipamiento, llamado ONU BS. En cuanto al hardware, la ONU BS contiene tres CPU's (*Central processing unit*), una de ellas es la responsable de la comunicación y el control en la sección EPON, otra CPU para la sección WiMAX y una tercera como controlador central para la coordinación e intercambio de información de estado entre las otras dos. Es posible incluso integrar todas las CPU's en una CPU más grande para una mayor integración. En software, la CPU EPON tiene las funciones de programación de paquetes, colas de prioridad y clasificador de paquetes. La CPU WiMAX tiene las funciones de

reconstrucción y programación de paquetes WiMAX. Por último, el controlador central es el encargado de la coordinación de todo el sistema (ver figura 2).

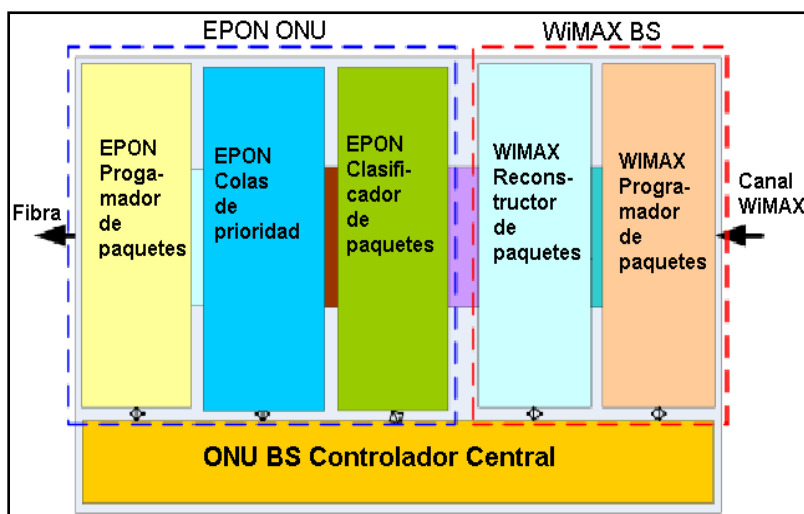


Fig. 2. Bloques funcionales de las CPU en una ONU-BS. [2]

Se espera que esta arquitectura proporcione una reducción considerable en los costos, debido a la integración de ambas tecnologías en un sólo equipamiento. Se espera, además un mejor desempeño comparado con la arquitectura anterior en términos de tasa de transmisión y QoS. Esta arquitectura tiene como desventaja, que aún no ha sido estandarizada.

Arquitectura unificada orientada a conexión.

WiMAX es una técnica de transmisión orientada a conexión en la cual a cada flujo de servicio se le asigna un único ID de conexión (*CID_connection ID*) y la solicitud de ancho de banda y el soporte de QoS son orientados a conexión. De acuerdo a las solicitudes de ancho de banda orientadas a conexión, un ancho de banda total es asignado a cada SS (*Subscriber Station*) y este ancho de banda es asignado a cada servicio asociado con la SS. En cambio, la solicitud de ancho de banda en EPON está basada en colas. No obstante, los principios generales de los dos tipos de redes son bastante similares, particularmente en los aspectos de solicitud y asignación de ancho de banda, los sistemas WiMAX por lo general asignan ancho de banda más refinadamente que los sistemas EPON. Además, la asignación de ancho de banda orientada a conexión generalmente muestra una QoS más predecible que los sistemas de asignación de ancho de banda basados en cola, lo que presupone que los sistemas WiMAX brinden un mejor soporte de QoS que la tecnología EPON [2]. Por esta razón, puede ser eficiente emplear un protocolo de solicitud y asignación de ancho de banda común para ambas EPON y WiMAX [3]. Al igual que en la arquitectura híbrida se emplea una plataforma unificada ONU BS. Sin embargo, la particularidad de la arquitectura orientada a conexión es que el protocolo de control WiMAX corre en la sección PON. Específicamente, se realiza una variación de la estructura de trama convencional de EPON, en la que primero se encapsulan las tramas Ethernet dentro de la carga útil de las PDU WiMAX (*Protocol data unit WiMAX*), y luego se transmiten estas PDU WiMAX sobre PON. La cabecera de las MAC PDU WiMAX (*Medium Access control PDU WiMAX*) proporcionan la vía para el intercambio de información de control, como es la solicitud y garantía de ancho de banda.

Como resultado, un único protocolo de control de la capa MAC de WiMAX puede controlar y administrar ambas redes, por lo que el sistema completo será operado por un protocolo de control unificado orientado a conexión [3]. En la figura 3 se muestra como las tramas Ethernet son encapsuladas dentro de las PDU MAC de WiMAX. La figura sólo representa el sentido ascendente, en el sentido descendente se realiza el mismo proceso.

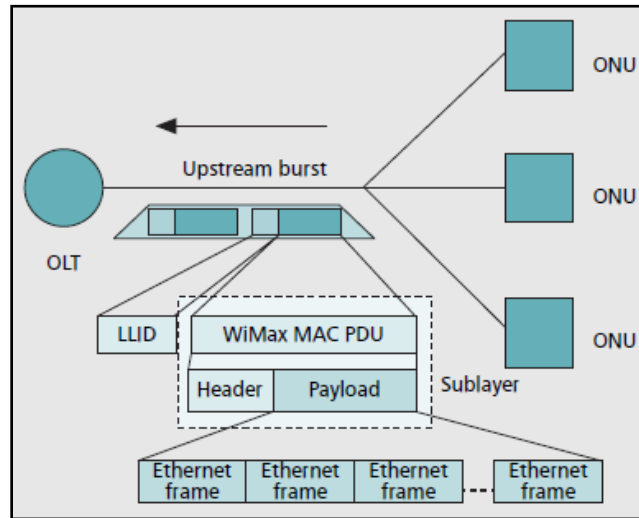


Fig. 3. Empleo de la capa MAC de WiMAX sobre EPON en subida. [2]

Arquitectura de microonda sobre fibra.

En la arquitectura MOF (*microwave over fiber*) se aprovecha mejor el espectro de la fibra (las arquitecturas anteriores sólo transmiten en banda base). En esta arquitectura la señal EPON se transmite en banda base y la señal WiMAX sobre subportadoras ópticas. Ambas señales son multiplexadas y moduladas sobre una frecuencia común. Esto puede traer como inconveniente interferencia entre las subportadoras. Una solución efectiva puede ser emplear la técnica WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) para modular las señales de banda base y WiMAX cada una sobre diferentes longitudes de onda [3]. La señal WDM PON es transmitida sobre la banda base de la fibra ocupando frecuencias de hasta 1,25 Ghz. La modulación de una frecuencia portadora WiMAX (2,5 Ghz) sobre una frecuencia óptica es lo que se denomina microonda sobre fibra [2]. En la figura 4 se muestra una arquitectura MOF sobre WDM PON. La arquitectura muestra un sistema con 16 longitudes de onda, cada una de ellas porta la señal en banda base para la transmisión PON y una subportadora para la señal WiMAX. Cada extremo remoto está conformado por una ONU y una antena no inteligente (*dumb*), la ONU es responsable de la comunicación de datos de la red PON y la antena *dumb* es responsable de la retransmisión de la señal WiMAX [4].

En la figura 4 se puede observar como el nodo central se compone de dos módulos, OLT's y una WiMAX-BS central. En lugar de una simple OLT en WDM PON hay 16 OLT's. Además, hay 16 unidades WiMAX-BS, que asociadas con un controlador/coordinador central macro-BS conforman una macro-BS WiMAX. La macro-BS procesa todas las tramas de las microceldas asociadas, coordina la asignación de ancho de banda y realiza la programación de paquetes para cada una de las estaciones base WiMAX. Después que la señal óptica entra al nodo central, es primero demultiplexado en diferentes longitudes de onda.

Luego, las señales de cada longitud de onda son convertidas de óptica a eléctrica y posteriormente son demultiplexadas en señal banda base y señal WiMAX, la señal banda base es reenviada a la OLT y la señal WiMAX es reenviada a la unidad WiMAX BS para su procesamiento [3].

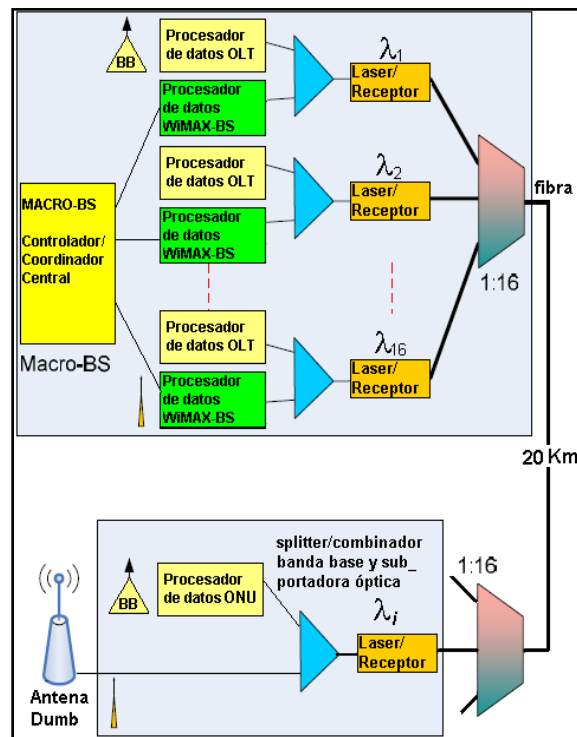


Fig. 4. Arquitectura MOF mediante la utilización de WDM PON.

Las ventajas de esta arquitectura pueden ser varias. Primero, como la macro-BS maneja todas las solicitudes de ancho de banda desde las microceldas, es posible implementar mecanismos eficientes de asignación de ancho de banda. Segundo, como una sola macro-BS coordina la comunicación de varias microceldas, la arquitectura MOF es conveniente para las operaciones de *handover* de los usuarios móviles. Tercero, esta arquitectura integra dos redes de acceso en una misma infraestructura. Además, en el caso de la red de acceso WiMAX, sólo una macro BS es necesaria en la central, por lo que la complejidad del sistema se centraliza y en los sitios remotos sólo se necesitan antenas *dumb* por lo que el sistema debe resultar más barato que cuando se implementa una BS para cada microcelda. Por último, como la señal WiMAX modulada sobre portadora óptica está en formato OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*), en la cual cada bit tiene una duración mayor que el formato común TDM (*time division multiplexing*), la señal puede resistir la dispersión propia de la fibra.

Como desventajas puede señalarse la posible congestión de la macro-BS debido a que tiene que ocuparse de todas las SS del sistema. El hecho de que una sola fibra porte dos redes de acceso, significa una doble vulnerabilidad en caso de daño físico a la fibra, afectando a las dos redes. Por último, esta arquitectura no está estandarizada [3].

INTEGRACIÓN PON-LTE.

De igual manera a la integración PON-WiMAX, puede realizarse una convergencia de PON y LTE (*Long Term Evolution*). WiMax móvil y LTE son dos tecnologías diferentes que permiten velocidades de hasta 100 Mbps. La diferencia crucial es que a diferencia de WiMAX, que requiere construir una nueva red específica, LTE es la evolución natural de la infraestructura de red móvil universal existente [5].

La demanda de banda ancha móvil hace incrementarse grandemente el número de Estaciones Base, que en LTE se conocen como NodoB evolucionado (eNB_ *evolved NodeB*). Un eNB podrá ofrecer tasas de bajada de 100 Mbps y 50 Mbps de subida, inyectando una gran cantidad de tráfico en la red de transporte celular (MBH_ *Mobile Network Backhaul*). El costo de las futuras MBH puede reducirse utilizando redes FTTx basadas en PON. En este escenario, un eNB puede conectarse a una ONU e incluso podría integrarse en un dispositivo ONU-eNB. Una red FTTx permite mezclar los servicios como pueden ser Empresas, Organismos importantes y a los cuales pueden añadirse las Estaciones Base [6].

Arquitecturas de integración posibles.

Las arquitecturas integradas PON-LTE pueden analizarse en arquitectura independiente y arquitectura superpuesta.

Arquitectura independiente.

En la arquitectura independiente, se conecta directamente una Estación Base a una ONU, la primera como usuario de la segunda mediante un enlace standard Ethernet. En la dirección de subida los datos van desde el equipo de usuario hasta el eNB, que los reenvía a la ONU y de ahí hasta el OLT. En el sentido descendente se realiza el mismo recorrido pero en sentido inverso. La Arquitectura Independiente es simple de implementar pero no hace un uso eficiente de las potencialidades de integración de ambas tecnologías [5].

Arquitectura convergente de superposición.

En esta arquitectura la ONU y el eNB LTE se integran en software y hardware. Como la ONU y el eNB están en la misma unidad, el intercambio de información de control es rápido y por ello la asignación de ancho de banda y la programación de paquetes es más eficiente [5].

INTEGRACIÓN PON-WiFi.

Además de las arquitecturas de integración vistas anteriormente, otra variante de red híbrida puede realizarse mediante la tecnología Wifi (*wireless fidelity*) [7].

En [7] se propone la interconexión de la Oficina Central (*CO_Central Office*) con varios puntos de acceso inalámbricos (*WAPs_Wireless Access Points*) mediante un anillo de fibra, en este caso la CO es la encargada de la gestión de la comunicación entre los nodos del cliente y sus respectivos WAP y a la vez actúa como Gateway para la interconexión con otras redes. Para extender el alcance de la red se utiliza el multisalto. La propuesta de red puede soportar una avanzada técnica de diversidad de ruta mediante la combinación de transmisión hacia varios WAPs y retransmisión multisalto.

En [8] se propone la integración de una red óptica de acceso WDM/TDM PON con una red inalámbrica implementando tecnología WiFi (IEEE 802.11 a). La red PON ofrece un ancho de banda total de 2Gb/s en ambos sentidos ascendente y descendente para cada longitud de onda, la cual es compartida por un grupo de ONU's (Optical Terminal Units). Como promedio, cada ONU cuenta con un ancho de banda de 54 Mb/s, lo que se corresponde con la capacidad total ofrecida por un WAP WiFi sobre canales de 20 Mhz.

El *backhaul* óptico de la red HOWAN (*hybrid optical-wireless access network*_Red de acceso híbrida óptica-inalámbrica) está compuesto por un OLT (*Optical Line Terminal*_Terminal óptico de línea) en la CO, un RN (*Remote Node*_Nodo remoto) y múltiples ONUs (Unidades ópticas de red).

En la HOWAN, las ONUs están provistas tanto de las funciones de las ONUs típicas de las redes PON como de *gateways* en las WMNs (*Wireless Mesh Networks*_Redes de malla inalámbrica). Las ONUs demodulan las señales ópticas descendentes provenientes del RN y la envían de forma inalámbrica hacia la WMN, en el sentido ascendente las señales inalámbricas provenientes de la WMN son moduladas en señales ópticas y enviadas al RN. La arquitectura HOWAN se muestra en la figura 5.

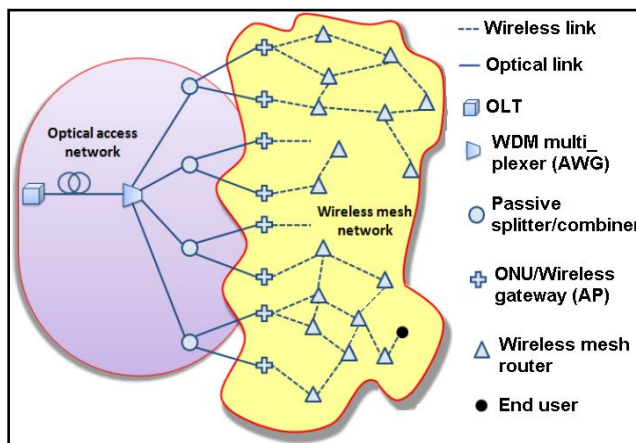


Fig. 5. Arquitectura HOWAN [8].

DISTRIBUCIÓN CELULAR SOBRE FIBRA.

El empleo de la fibra óptica para la transmisión de señales celulares es una de las primeras y más difundidas aplicaciones de integración óptica-inalámbrica. Se utiliza en la ampliación de la cobertura en entornos interiores e incluso en áreas metropolitanas [9].

La implementación se realiza mediante la técnica RoF (*Radio over fiber*_Radio sobre fibra) aplicando lo que se conoce como DAS (*Distributed Antenna System*_Sistema de antenas distribuidas). En el DAS una estación central o estación base alimenta a varias RAUs (*remote antenna units*_unidades de antenas remotas). En este escenario es posible incluso emplear fibras multimodo (preexistentes en algunos casos) reduciendo los costos de instalación. La técnica de RoF permite simplificar considerablemente las RAU, su función se restringe a realizar la conversión opto-eléctrica y la amplificación de la señal [10].

El empleo de la técnica de RoF tiene grandes opciones de escalabilidad empleando la tecnología PON. Un sistema RoF-DAS puede implementarse sobre WDM-PON y a su vez, en cada longitud de onda

utilizar OTDM (*optical time division multiplexing*_multiplexación óptica por división en tiempo) lo que incrementa extraordinariamente la cantidad de antenas a utilizar [11].

CONCLUSIONES.

Las redes de acceso de nueva generación deben ofrecer un elevado ancho de banda en un entorno de movilidad. La integración de las tecnologías ópticas e inalámbricas posibilita la sinergia perfecta para alcanzar este objetivo. Los escenarios reales pueden ser muy disímiles y esta es la razón por la cual en el presente trabajo se han tratado variadas tecnologías. Los proveedores de servicios tienen en la convergencia óptico-inalámbrica una abundante cartera de opciones para satisfacer las necesidades de sus clientes de forma rápida y eficiente.

REFERENCIAS.

- [1] BERBÉN CÁSER, José Dixán; ÁLVAREZ PALIZA, Félix. "Variantes de integración óptico-Inalámbrica como soluciones de acceso". *EventoCIE2011, Santa Clara, Cuba*. 2011.
- [2] SHEN, Gangxiang; TUCKER, Rodney S.; CHAE, Chang-Joon. "Fixed Mobile Convergence Architectures for Broadband Access: Integration of EPON and WiMAX". *IEEE Communications Magazine*, pp 44-50. Agosto-2009.
- [3] SHEN, Gangxiang; TUCKER, Rodney S. "Fixed Mobile Convergence (FMC) Architectures for Broadband Access: Integration of EPON and WiMAX". *Invited paper, IEEE Department, University of Melbourne*. 2009.
- [4] LOGROÑO GÓMEZ, Jorge I.; JIMÉNEZ, María S. "Integración de las redes ópticas pasivas Ethernet (EPON/GPON) con la tecnología WiMAX". *Escuela Politécnica Nacional de Quito*. 2009.
- [5] HUSSAIN, Shahab; ZAIDI, Syed R.; ALI, M. A. "Next Generation PON based LTE Architecture and Challenges in Femtocells Deployments". *Department of Electrical Engineering, The City College of The City University of New York*. 2012.
- [6] ASTUDILLO, Carlos A.; DA FONSECA, Nelson L. S.; FREITAG BORIN, Juliana. "LTE Scheduler for LTE/TDM-EPON Integrated Networks". *Instituto de Computación, Universidad de Campinas*. IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2014.
- [7] G, Navid; M., Martin. "Fiber-Wireless (FiWi) Access Networks: A survey". *Optical Zeitgeist Laboratory, INRS Chadi M. Assi, Concordia University*, 2009.
- [8] REDHWAN, Q. S.; BIN M., Abu Bakar. "Performance Assessment of a 2 Gb/s Hybrid Optical-Wireless Access Network". *Infocomm Research Alliance Universiti Teknologi Malaysia*. 2010.
- [9] WAKE, David. "Trend and prospects for Radio over fiber picocells". *Department of Electronic & Electrical Engineering, University College London, Torrington Place, London, UK*. 2002.
- [10] DHIRENDRA PRASAD, Saurabh Rai. "Radio over fiber for 3G cellular System". *Shivaji University, Kolhapur*. 2009-2010.

[11] TSUKAMOTO, Katsutoshi et al. "RoF-DAS over WDM-PON Using Bandpass-sampling and Optical TDM Techniques as Universal Entrance Network for Broadband Wireless Access. *Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings*. KL, MALAYSIA. 2012.