

Curso: Redes Ópticas: Principios y evolución hacia una Próxima Generación.				
Profesores: Profesor principal René Yáñez de la Rivera, Dr. en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios en Telecomunicaciones e Informática (CETI), Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE.				
Acerca del curso	Modalidad: A Distancia	Duración: 30 horas	Créditos: 1	Idioma: Español
	Destinatarios	El curso en general está dirigido a ingenieros en telecomunicaciones o especialidades afines que aspiren a formarse como especialistas, en empresas operadoras de telecomunicaciones o proveedoras de tecnologías en este campo. También va dirigido a profesores que impartan asignaturas en comunicaciones ópticas, sistemas de transmisión y otras materias relacionadas. Puede ser de especial interés, además, para aquellos especialistas que realicen tareas de vigilancia tecnológica.		
	Fundamentación y objetivos	<p>Fundamentación.</p> <p>El curso se fundamenta en la rápida evolución que han experimentado los sistemas de telecomunicaciones ópticos sobre cable de fibra, con una presencia inicial en el núcleo de la red que más recientemente se extiende también al acceso. En tal sentido, el adquirir un conocimiento ordenado de estas tecnologías y los factores que han permitido su desarrollo es una necesidad, a su vez que una oportunidad, para quienes aspiren a hacerse especialistas en este campo o simplemente quieran estar al tanto de las tendencias en estas ramas del conocimiento.</p> <p>Desde la aparición comercial de la fibra óptica en 1980, los sistemas ópticos han pasado a formar una parte importantes de las redes de telecomunicaciones, hasta tal punto que puede decirse que esta tecnología de conjunto con la microelectrónica han sido un factor de mucho peso en el advenimiento de la llamada "era de la información". Inicialmente se desplegaron en el núcleo de la red y operaban en modo monocromático sobre cada hilo de fibra, alcanzando tasas de transmisión de hasta de 40 Gb/s. En los 90 surgen los sistemas de multiplexado en longitud de onda (WDM) lo que permitía la operación en varias lambdas</p>		

sobre un mismo hilo de fibra lo que elevó las tasas de transmisión, a comienzos de los 2000, a más de 1Tb/s. Todo esto ocurría principalmente en lo que se denomina el núcleo o dorsal de la red.

Hacia 2003 los sistemas ópticos comienzan a desplegarse también en el acceso, o sea, al enlace entre los terminales de usuario y la oficina central . Esto fue un paso importante para la proliferación de los servicios de banda ancha, pues permite velocidades de transmisión entre 2.5 y 10 Gb/s a compartirse entre varios usuarios a partir de redes con divisores de potencia pasivos , tecnología conocida como redes ópticas pasivas de Giga bits o GPON.

Un primer propósito de este curso es hacer un recuento de los sistemas ópticos que operan tanto en el núcleo de la red como en el acceso. Un segundo propósito es llamar la atención sobre las velocidades de transmisión que se obtienen actualmente sobre un hilo de fibra operando incluso de forma monocromática y como esto a su vez conduce a la denominada "Red de Transporte Óptico" , en fase de despliegue en el núcleo de la red, que integra el multiplexado en el dominio eléctrico con WDM y que puede considerarse como una "próxima generación" en este campo .

Por último, un tercer propósito muy especial es incentivar el interés por la investigación en estos temas y motivar a la elaboración de reportes cortos o monografías que expliquen algunos de los fundamentos de estas tecnologías . En particular es de mucho interés cómo se pueden alcanzar estas altas tasas de transmisión sobre fibra.

Es muy ilustrativo observar el siguiente gráfico el cual ofrece la evolución de la tasa de transmisión sobre fibra óptica, desde los 90 del siglo pasado hasta fechas muy cercanas a la actual.

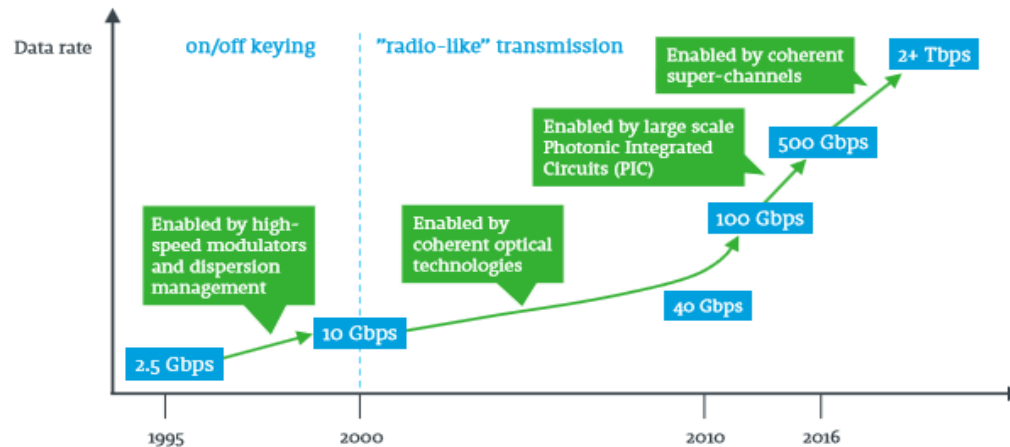


Figure 3. Evolution of optical transmission speeds

(Tomado de la Referencia [1] en la Bibliografía).

Objetivos del Curso.

- Adquirir una visión del estado del arte y tendencias de los sistemas de comunicaciones ópticas en general y su papel en el despliegue de los servicios de banda ancha.
- Conocer las características de la fibra óptica como medio de transmisión y su aplicación en las redes de datos, profundizando en los principios físicos de la propagación de señal sobre este medio, los estándares de la UIT-T y los avances tecnológicos al respecto .
- Estudiar los principios de las redes de acceso en especial en su evolución hacia soluciones ópticas como son FTTX (Fibra al punto X, por sus siglas en inglés) y GPON (Redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gigabits, por sus siglas en inglés).
- Comprender la evolución a la denominada Red de transporte Óptico (OTN, por sus siglas en inglés) la

	<p>cual integra las tecnologías SDH (Jerarquía Digital Síncrona, por sus siglas en inglés) y WDM (Multiplexación por Longitud de Onda, por sus siglas en inglés), así como sus características principales entre las que se destacan las altas tasas de transmisión, la optimización en el número de longitudes de onda y la introducción de protocolos que hacen robusto el transporte de datos a través de las redes ópticas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motivar el interés por investigar los principios en que se basan las tecnologías de avanzada que sustentan los sistemas de comunicaciones ópticos , con énfasis en las soluciones que permiten la operación a altas tasas de transmisión con velocidades del orden de 100 Gbps, 400 Gbps e incluso más de 2 Tbps. • Servir de apoyo a trabajos de vigilancia tecnológica en el campo de los sistemas ópticos.
<p>Contenidos del curso y bibliografía</p>	<p>Contenidos del curso abreviado.</p> <p>Presencia de las comunicaciones ópticas en las redes. Hitos históricos en el desarrollo de la fibra óptica (FO). Evolución de los sistemas ópticos. Sistemas coherentes de avanzada con procesamiento digital de señal. Principios de la propagación sobre FO: enfoque mediante el modelo de rayos de la óptica geométrica y enfoque basado en la teoría del campo electromagnético. Comentarios y aspectos de interés en torno a la solución de las ecuaciones de Maxwell en medios dieléctricos como la fibra óptica. Parámetros de transmisión de la FO: Atenuación, Dispersión, No linealidades. Estándares de la serie G de la UIT (G.654 a la G.656) sobre tipos de fibra óptica. Sistema Óptico. Calculo del enlace óptico. Multiplexacion por longitud de ondas sobre fibra óptica (WDM). Estándares. Evolución. Componentes. Papel del amplificador óptico. Redes ópticas de acceso. Arquitecturas FTTX. Tecnología de redes ópticas pasivas GPON. Cálculo de las pérdidas en la red de distribución. Redes de Transporte: SDH tradicional, SDH de nueva generación para datos. WDM y OTN (Redes de Transporte Óptico) como red óptica de próxima generación y soporte de los crecientes servicios de banda ancha.</p> <p>Se divide en cuatro temas principales. Las horas mostradas son horas lectivas equivalentes en modo presencial.</p> <p>Tema I : Introducción. (2h)</p> <p>Sistema de Telecomunicación. Redes: Acceso, Agregación y Transporte. Papel de los sistemas ópticos. Naturaleza de la luz. Sistemas ópticos: componentes. Evolución de los sistemas ópticos: Generaciones. Sistemas ópticos coherentes de avanzada basados en receptores con procesamiento digital de señal. Introducción al</p>

concepto de "superchannel" ligado a DWDM (WDM denso). Tendencias y temáticas de interés a investigar Problemas propuestos.

Tema II: Propagación sobre Fibra Óptica. (8h)

Propagación sobre FO: Enfoque óptica geométrica (Ley de Snell, reflexión total, ángulo crítico, ángulo de aceptación, apertura numérica NA). Aspectos de interés en la solución de las ecuaciones de Maxwell para la fibra óptica. Parámetros frecuencias normalizada "V" y constante de fase normalizada "b". Modos de propagación . Otros elementos. Problemas propuestos .

Características de Transmisión de la FO: Atenuación, causas como dispersión, absorción , impurezas presentes, etc. Diagrama de Ventanas. Dispersión: modal, cromática, de polarización. Limitación del ancho de banda. Estándares de FO. Cálculo del enlace. Problemas propuestos.

Tema III: Redes de acceso ópticas. (4h)

Redes de Acceso en general: Evolución desde el par de Cobre, Modems de datos de banda estrecha, banda ancha a través de xDSL, bosquejo de las redes inalámbricas. Presencia de la fibra óptica en el acceso. Arquitecturas FTTx, redes de distribución pasivas (PON). Redes GPON como tecnología predominante. Arquitectura y Protocolos: tramas GEM y GTC. Problemas propuestos.

Tema IV : Redes de transporte ópticas. (16h)

Jerarquía SDH. Preliminares (PDH, limitaciones, mínimo histórico). Características y Ventajas. Estructura de la Trama. Sistema. Velocidades estandarizadas. Evolución a Nueva Generación (Next Generation SDH) para redes de datos. Protocolos GFP (Procedimiento de Entramado Genérico), Vcat (Concatenación Virtual), LCAS (Esquema de Ajuste de Capacidad del Enlace) . Problemas propuestos.

Multiplexado por longitud de Onda (WDM): WDM denso (DWDM) y Aproximado (CWDM), espectro óptico, componentes, no linealidades, ventajas y limitaciones . Preguntas y problemas propuestos.

Redes de Transporte Óptico (OTN):Integración del multiplexado eléctrico y óptico (SDH y WDM). Estándares. Ventajas. Corrección de error hacia delante (FEC). Arquitectura por niveles eléctricos y ópticos. Reutilización de los protocolos de Next Generation SDH e introducción de nuevas alternativas para el transporte de señales asíncronas . Tramas. Diagramas de multiplexado. Preguntas y problemas propuestos.

Bibliografía.

[1] Upknowledge. "Optical Access and Backbone Networks". Instructor- guided training material. QROI

- Academy.2017. www.upknowledge.com
- [2] Mikael Mazur. "High Spectral Efficiency Fiber-Optic Transmission System Using Pilot Tones ". Technical Report MC2-394. ISSN 1652-0769. Photonics Laboratory. Chalmers University of Technology. SE-11296. Goteborg. Sweden. 2018
- [3] Shiva Kumar and M. Jamal Deen, "Fiber Optic Communications Fundamentals and Applications". John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [4] Senior John. M, "Optical Fiber Communications: Principles and Practice". 3rd. Edition. Prentice Hall. 2009.
- [5] Govind P. Agrawal. "Fiber-Optic Communication Systems". 3rd. Edition. John Wiley & Sons. 2002.
- [6] Adolfo García Yagüe. "GPON, Introducción y Conceptos Generales". ~ agy@telnet-ri.es Versión 1.7 ~. Noviembre 2012 TELNET-RI.
- [7] Camilo Andrés. "Redes de fibra óptica: más allá de la luz". Trabajo final de grado. Universidad Politécnica de Cataluña. España. 2016
- [8] Paul Littlewood, Fady Masoud, Earl Follis . "Redes de transporte óptico". Ciena 7035 Ridge Rd. Hanover, MD 21076. 2015 .
- [9] René Yáñez, Hugo Triana, Adriana Febles." Sistemas de Telecomunicaciones: Estado del arte y tendencias de las Redes de Transporte". Monografía. Universidad Tecnológica de La Habana " José Antonio Echeverría" (CUJAE). Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica. 2020
- [10] José M. Pindado Buendía. "OTN-Optical Transport Networks". Anritsu. 2016
- [11] Yossi Moshe."Introduction to OTN". Tera-Pass. 2020
- [12] Reza Vaez- Gahemes. "Next Generation Optical Transport Networks". Viavi solutions Inc. 2015.
- [13] Jose M. Caballero. " Sonet /SDH and NG-Sonet/SDH: Migration to Next Generation SDH". 2005/Reprinted 2015.
- [14] ETECSA. " El proveedor de fibra óptica Next Gen Networks crece con Equinix". Boletín # 3. Observatorio Tecnológico, Científico y de Innovación. 2022. Fuente original disponible en <https://www.redestelecom.es/conectividad/notir-de-fibra-optica-nexgen-networks-crece-equinix.1.html>

Las referencias bibliográficas expuestas se complementan con las conferencias preparadas por el profesor y otros materiales a orientarse en cada tema, así como por búsquedas de informaciones por los propios estudiantes en la Web.

	<p>La referencia [1] es un texto actualizado a 2017, pero con mucha visión de futuro, en el cual se identifican con claridad la evolución y tendencias de las redes ópticas. Sus descripciones son más bien cualitativas, pero facilitan mucho la comprensión de las diferentes temáticas que luego se pueden profundizar en otros documentos publicados al respecto. De la misma forma la referencia [2] de 2018 es una tesis de doctorado que en su introducción y en los capítulos 2 y 3 expone la evolución de los sistemas ópticos coherentes basados en procesamiento digital de señal , introduciendo los conceptos asociados al denominado "super channel" (super canal) en DWDM que es el objetivo general de la investigación reportada en la citada publicación.</p> <p>En los temas de propagación sobre fibra óptica se toman elementos de los textos [3,4,5] para adquirir una noción básica de los principios físicos asociados y su importancia.</p> <p>En redes de acceso y de transporte existe una amplia bibliografía en la red, pero se ha tenido a bien citar algunas a manera de ejemplo y guía para el estudio de los temas III y IV.</p>
<p>Síntesis sobre desarrollo del curso e interacción con actores, elementos del cronograma</p>	<p>El curso ha de montarse sobre la plataforma de cursos a distancia Moodle, contando con las presentaciones en ppt por tema, así como con carpetas complementarias y demás requerimientos al respecto. Las actividades evaluativas son: una tarea, con preguntas y problemas por temas; un reporte sobre un tema de investigación , seleccionado a partir de una propuesta del profesor o negociado entre estudiante y profesor. La fecha del curso es del 14 al 25 de noviembre, 12 horas on-line y el resto de trabajo individual de los estudiantes. Deben haber foros de interacción estudiantes-profesor como consultas.</p>
<p>Acerca de los profesores</p>	<p>Síntesis curricular del profeso René Yáñez de la Rivera.</p> <p>Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en 1972. Máster en Instrumentación y Electrónica en 1977. Doctor en Ciencias Técnicas en 1989 con el tema verificación de circuitos lineales mediante técnicas de procesamiento digital de señal. Ha estado vinculado a actividades de docencia e investigación, con actividad también en la producción de semiconductores en fábrica, en la especialidad de verificación de componentes.</p> <p>Actualmente se desempeña como profesor de la Universidad Tecnológica de la Habana (CUJAE) en la disciplina de Redes de Telecomunicaciones. Posee experiencia como docente en actividades de pregrado y posgrado, con colaboración en países como Bolivia y Angola. Ha impartido, en las</p>

disciplinas de sistemas y redes de telecomunicaciones, las siguientes asignaturas:

- Sistemas de transmisión
- Redes de Telecomunicaciones III
- Temas de Conmutación y Red de Próxima Generación (NGN).
- Comunicaciones Ópticas
- Matlab aplicado a las Telecomunicaciones.