



Guía docente

300030 - CO - Comunicaciones Ópticas

Última modificación: 06/06/2024

Unidad responsable: Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Aeroespacial de Castelldefels
Unidad que imparte: 739 - TSC - Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

Titulación: GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN (Plan 2009). (Asignatura obligatoria).

Curso: 2024 **Créditos ECTS:** 6.0 **Idiomas:** Catalán, Castellano

PROFESORADO

Profesorado responsable: Definit a la infoweb de l'assignatura.

Otros: Definit a la infoweb de l'assignatura.

CAPACIDADES PREVIAS

· Conocimientos sobre teoría electromagnética, ondas guiadas y procesado de señal.

REQUISITOS

- Haber cursado o estar cursando las asignaturas de:
 - o Física.
 - o Matemáticas de la Telecomunicación.
 - o Electrónica en las Telecomunicaciones.
 - o Fundamentos de Comunicaciones.
 - o Probabilidad y Estadística.
 - o Ondas Electromagnéticas en Sistemas de Comunicación.

COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

Específicas:

1. CE 25 SIS. Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias.(CIN/352/2009, BOE 20.2.2009)

Genéricas:

7. USO EFICIENTE DE EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN - Nivel 1: Utilizar correctamente instrumental, equipos y software de los laboratorios de uso general o básicos. Realizar los experimentos y prácticas propuestos y analizar los resultados obtenidos.

Transversales:

2. APRENDIZAJE AUTÓNOMO - Nivel 1: Llevar a cabo tareas encomendadas en el tiempo previsto, trabajando con las fuentes de información indicadas, de acuerdo con las pautas marcadas por el profesorado.
3. COMUNICACIÓN EFICAZ ORAL Y ESCRITA - Nivel 1: Planificar la comunicación oral, responder de manera adecuada a las cuestiones formuladas y redactar textos de nivel básico con corrección ortográfica y gramatical.
4. TERCERA LENGUA: Conocer una tercera lengua, que será preferentemente inglés, con un nivel adecuado de forma oral y por escrito y en consonancia con las necesidades que tendrán las tituladas y los titulados en cada enseñanza.
5. TRABAJO EN EQUIPO - Nivel 1: Participar en el trabajo en equipo y colaborar, una vez identificados los objetivos y las responsabilidades colectivas e individuales, y decidir conjuntamente la estrategia que se debe seguir.
6. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN - Nivel 1: Identificar las propias necesidades de información y utilizar las colecciones, los espacios y los servicios disponibles para diseñar y ejecutar búsquedas simples adecuadas al ámbito temático.

METODOLOGÍAS DOCENTES

La metodología docente que se utilizará en las clases teóricas se basa en clases magistrales. Además, las clases magistrales serán complementadas con actividades que requieren mayor participación de los alumnos; ésta se fomentará mediante actividades de discusión entre profesores y alumnos sobre los temas tratados (por ejemplo, mediante la evaluación de contenidos de artículos de investigación relacionados con los temas tratados). Las clases magistrales se complementarán con unos trabajos adicionales que los estudiantes deberán llevar a cabo relacionados con los contenidos de la asignatura.

Las clases de laboratorio se llevarán a cabo mediante el programario de simulación de sistemas ópticos VPI Photonics. En los ordenadores de la sala de laboratorio se instalará el programario necesario para llevar a cabo las sesiones de laboratorio. Se organizarán grupos de trabajo de 2 alumnos, fomentando de esta manera el trabajo en grupo, contribuyendo al desarrollo de competencias transversales. Posteriormente a la realización de la sesión de laboratorio, cada grupo deberá elaborar y entregar una memoria con un resumen de la actividad realizada, de los parámetros investigados y las conclusiones en términos de prestaciones de los sistemas estudiados.

Las sesiones de actividades dirigidas consistirán en talleres donde los profesores ayudarán a los estudiantes a resolver todas las dudas que puedan surgir en la elaboración de los trabajos asignados dentro del marco del aprendizaje autónomo.

El material de clase que se entregará a los estudiantes (transparencias, artículos, enunciados de los trabajos adicionales, enunciado de las prácticas de laboratorio, etc.) será en inglés.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

El objetivo general de la asignatura Comunicaciones Ópticas es entender los diferentes elementos de los sistemas de comunicaciones por fibra óptica. En primer lugar, conocer las características básicas de las fuentes ópticas y transmisores ópticos, de las fibras ópticas, de los fotodetectores y receptores ópticos. En segundo lugar, el/la estudiante, al finalizar el curso debe ser capaz de diseñar un enlace óptico considerando los distintos efectos que actúan sobre la señal transmitida (atenuación, dispersión, efectos no lineales, etc.). En tercer lugar, los alumnos deben ser capaces de identificar las limitaciones de las actuales infraestructuras de las redes públicas de telecomunicación y conocer los dispositivos/subsistemas de las redes de transporte óptico de nueva generación basadas en la tecnología WDM.

Al terminar la asignatura de Comunicaciones Ópticas, el/la estudiante debe ser capaz de:

- Conocer los principios de funcionamiento de las fuentes ópticas; conocer las características básicas/parámetros de las fuentes ópticas.
- Conocer los principios de propagación de las señales en una fibra óptica.
- Comprender el compromiso atenuación/dispersión en un enlace de fibra óptica; obtener la máxima distancia a la que se puede transmitir a una cierta velocidad. Conocer los efectos no lineales de la propagación.
- Conocer los requisitos básicos para los fotodetectores a usar en sistemas de transmisión basados en fibras ópticas y el principio de funcionamiento de la detección óptica.
- Conocer el concepto de ruido en la detección óptica y enumerar los diferentes tipos de ruido en una transmisión óptica.
- Calcular la OSNR para los diferentes sistemas de detección óptica.
- Conocer el concepto de probabilidad de error en un sistema de transmisión por fibra óptica y calcular la probabilidad de error BER en diferentes configuraciones de los receptores ópticos.

Conocer el concepto de amplificación, tipos de amplificadores y ruido en amplificación óptica.

- Conocer los formatos de modulación usados en la transmisión por fibra.
- Conocer los diferentes dispositivos que forman parte de una red óptica con tecnología WDM (transmisores, receptores, componentes pasivos, multiplexadores-demultiplexadores, conmutadores, filtros, acopladores, polarizadores, etc.).
- Diseñar un enlace de fibra teniendo en cuenta los efectos de la propagación.
- Conocer los fundamentos de las redes de transporte basados en la conmutación de longitud de onda.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo mediano	10,0	6.67
Horas aprendizaje autónomo	84,0	56.00
Horas grupo grande	39,0	26.00
Horas grupo pequeño	10,0	6.67



Tipo	Horas	Porcentaje
Horas actividades dirigidas	7,0	4.67

Dedicación total: 150 h

CONTENIDOS

Transmisores ópticos

Descripción:

El objetivo general de este contenido es el estudio de fuentes ópticas basadas en semiconductores, es decir, los transmisores LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Para una mejor comprensión de la generación de la señal/potencia óptica se introducen unas breves nociones de la interacción entre las ondas electromagnéticas a frecuencias ópticas (luz) y materia. Finalmente, se describen los principios de funcionamiento de las fuentes, sus características potencia óptica-corriente y se describe el comportamiento, tanto estático como dinámico, del dispositivo LASER .

Concretamente, se estudiará:

- Principio de funcionamiento de los laser, ganancia y tipos de laser.
- Estructura de un laser semiconductor Fabry-Perot (FP), Condiciones de oscilación, Modos de emisión y Características espectrales.
- Ecuaciones de ritmo, Característica luz-corriente, Potencia óptica emitida, Relación de Supresión de modo (MSR).
- Estructuras avanzadas de laser monomodo (DFB, DBR, cavidades acoplables), laser sintonizable.
- Formatos de modulación, Moduladores ópticos (MZI).

Actividades vinculadas:

Laboratorio de análisis y caracterización de los transmisores ópticos.

Solución de problemas de transmisores ópticos.

Taller de actividades de los transmisores ópticos.

Dedicación: 33h

Grupo grande/Teoría: 8h

Grupo mediano/Prácticas: 3h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 18h

Fibras Ópticas

Descripción:

El objetivo de este tema es describir las características principales de las fibras ópticas. Se define el concepto de modos de propagación y se estudiarán los distintos tipos de fibras ópticas en función del número de modos que se propaguen. Se define el concepto de dispersión en fibra óptica y se describen los diferentes tipos de dispersión; se describen los diferentes tipos de fibra óptica comerciales según sus características (G.652, G.653 y G.655). Finalmente se obtiene la relación entre el ancho de banda y la dispersión de las fibras ópticas. En un último apartado, se aborda la problemática de la transmisión, desde el punto de vista de teoría de señal, estudiando los diferentes fenómenos que afectan la calidad de la señal transmitida.

Concretamente, se estudiará:

- Propagación de las señales ópticas, Modos de propagación, Atenuación, Dispersión.
- Compromiso atenuación-dispersión, Compensación de las dispersiones. Tipos de fibras (G.652, G.653, G.654 y G.655).
- Efectos no-lineales (FWM, SPM, XPM, SBS) en la propagación de las señales ópticas.
- Cables de fibras, Conexión de fibras, medidas de atenuación por reflectometría óptica (OTDR).

Actividades vinculadas:

Laboratorio de análisis y caracterización de las fibras ópticas.

Solución de problemas de fibras ópticas.

Taller de actividades de las fibras ópticas.

Dedicación: 32h

Grupo grande/Teoría: 9h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Actividades dirigidas: 1h

Aprendizaje autónomo: 18h

Detección óptica, Receptores ópticos y sistemas de transmisión por fibra

Descripción:

En un enlace de fibra óptica, el fotodiodo es el último componente óptico del sistema básico. En este contenido se presenta en primer lugar el principio de funcionamiento de un fotodiodo y los tipos de fotodiodo (PIN y APD), poniendo de manifiesto sus diferencias, no sólo en términos de principio de funcionamiento, sino también de prestaciones. Se introduce además el concepto de ruido en una detección óptica. Finalmente se calcula la relación Señal-Ruido (SNR) presentando algunos casos particulares. Una vez vistos los distintos elementos, se llevará a cabo el análisis de un sistema de transmisión óptico completo; se trata en este tema el concepto de probabilidad de error (BER). Finalmente, se estudiarán los sistemas de detección coherentes.

Concretamente, se estudiará:

- Eficiencia cuántica y sensibilidad de un fotodetector, Tipos de fotodetectores (PIN y APD) y comparación de prestaciones.
- Ruido en la detección óptica y relación señal-ruido (SNR). Detección heterodina. Tipos de receptores ópticos.
- Probabilidad de error por bit (BER) en función de los diferentes parámetros del sistema: modelo de Poisson, modelo de Gauss, parámetro Q, relación parámetro Q con SNR y BER.
- Sistemas coherentes para formatos de modulación avanzados.

Actividades vinculadas:

Laboratorio de análisis y caracterización de los receptores ópticos.

Solución de problemas de receptores ópticos.

Taller de actividades de receptores ópticos.

Dedicación: 38h

Grupo grande/Teoría: 10h

Grupo mediano/Prácticas: 3h

Grupo pequeño/Laboratorio: 3h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 20h

Amplificadores ópticos

Descripción:

El objetivo de este contenido es introducir el concepto de la amplificación óptica, así como los diferentes tipos de amplificadores (EDFA y SOA).

Concretamente, se estudiará:

- Concepto de amplificación óptica
- Tipos de amplificadores: semiconductores (SOA) y de fibra dopada (EDFA).
- Ruido en amplificación óptica.

Actividades vinculadas:

Laboratorio de análisis y caracterización de los amplificadores ópticos.

Solución de problemas de los amplificadores ópticos.

Taller de actividades de los amplificadores ópticos.

Dedicación: 17h

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Grupo pequeño/Laboratorio: 1h

Actividades dirigidas: 1h

Aprendizaje autónomo: 10h

Multiplexación de longitud de onda (WDM): Dispositivos y sistemas

Descripción:

Los actuales sistemas de transmisión por fibra óptica utilizan la tecnología de multiplexación por longitud de onda (WDM). Con este contenido se pretende proporcionar básicamente los conocimientos sobre los componentes básicos/subsistemas para sistemas WDM (Multiplexores/De-multiplexores ópticos, conmutadores ópticos, dispositivos de extracción-inserción de longitud de ondas, etc.). Además, se pretende presentar las actuales infraestructuras de redes de telecomunicación públicas, evidenciando sus ineficiencias. Se presentan las redes de transporte ópticas, describiendo la arquitectura y los sistemas de las redes ópticas de conmutación de circuitos.

Concretamente, se estudiará:

- Tecnologías de multiplexación con longitud de onda (WDM).
- Componentes básicos para sistemas WDM (Multiplexores/Demultiplexores ópticos, filtros ópticos, conmutadores ópticos, dispositivos de extracción-inserción de longitud de ondas, componentes ópticos pasivos, etc.).
- Monitorización de señales ópticas.
- Sistemas WDM de alta capacidad.
- Redes ópticas con conmutación de canales ópticos.

Actividades vinculadas:

Laboratorio de análisis y caracterización de los dispositivos y sistemas WDM.

Taller de actividades de los sistemas WDM.

Dedicación: 30h

Grupo grande/Teoría: 8h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Actividades dirigidas: 1h

Aprendizaje autónomo: 18h

ACTIVIDADES

ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE TRANSMISORES ÓPTICOS

Descripción:

El objetivo de esta actividad es, a través del programario de simulación Virtual Photonics (VPI) analizar i caracterizar los transmisores ópticos que se utilizan en sistemas de transmisión ópticos de elevada capacidad; concretamente se analizará a través de esquemas de simulación: el espectro de emisión de un laser (FP, DFB), la relación corriente-potencia óptica de salida, comportamiento dinámico de un laser, modulación directa, modulación externa basada en interferómetros Mach-Zendher (MZI) prestaciones de diferentes formatos de modulación:OOK, BPSK, etc.

Objetivos específicos:

- Familiarizar-se con un entorno de simulación de sistemas de comunicaciones ópticas.
- Adquirir habilidades de trabajo en grupo.

Material:

Enunciado de la práctica de laboratorio disponible en la plataforma moodle, Programario de simulación VPI.

Entregable:

Al finalizar la práctica de laboratorio, cada grupo deberá entregar una memoria con la descripción de los objetivos de la sesión, esquema del sistema que se ha caracterizado, parámetros que se han considerado y resultados obtenidos. La memoria también deberá incluir unas conclusiones que representen las recomendaciones del grupo para el diseño óptimo de sistema. La evaluación de las memorias representará la nota de laboratorio.

Dedicación: 6h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Aprendizaje autónomo: 4h

ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RECEPTORES ÓPTICOS

Descripción:

Los objetivos de esta actividad de laboratorio consisten en el análisis y caracterización de los receptores ópticos (PIN i APD); mediante unos modelos de simulación implementados usando el programario VPI, en la actividad se pretende caracterizar: la relación entre la potencia óptica recibida y la corriente eléctrica fotodetectada, la responsividad, la respuesta impulsional del fotodiodo y, finalmente, la relación señal-ruido del receptor en distintas condiciones.

Objetivos específicos:

- Familiarizarse con un entorno de simulación de sistemas de comunicaciones ópticas.
- Adquirir habilidades de trabajo en grupo.

Material:

Enunciado de la práctica de laboratorio disponible en la plataforma moodle. Programario de simulación VPI.

Entregable:

Al terminar la práctica de laboratorio cada grupo deberá entregar una memoria con la descripción de los objetivos de la sesión, esquema del sistema que se ha caracterizado, parámetros que se han considerado y resultados obtenidos. La memoria también deberá incluir unas conclusiones de representen las recomendaciones del grupo para el diseño óptimo del sistema. La evaluación de las memorias representará la nota de Laboratorio.

Dedicación: 9h

Aprendizaje autónomo: 6h

Grupo pequeño/Laboratorio: 3h



ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN ÓPTICO (TRANSMISOR ÓPTICO+FIBRA ÓPTICA+RECEPTOR ÓPTICO)

Descripción:

Los objetivos de esta actividad de laboratorio consisten en el análisis y caracterización de un sistema de transmisión óptico compuesto por un transmisor óptico (FP y DFB), un tramo de fibra óptica y un receptor óptico (PIN y APD). Mediante los modelos de simulación, usando el programario VPI, se caracterizará el sistema en términos de probabilidad de error por bit (BER) y diagrama de ojo, limitaciones por las pérdidas (atenuación) y limitaciones por la dispersión (limitación de la tasa de bits).

Objetivos específicos:

- Familiarizarse con un entorno de simulación de sistemas de comunicaciones ópticas.
- Adquirir habilidades de trabajo en grupo.

Material:

Enunciado de la práctica de laboratorio disponible en la plataforma moodle, Programario de simulación VPI.

Entregable:

Al finalizar la práctica de laboratorio, cada grupo deberá entregar una memoria con la descripción de los objetivos de la sesión, esquema del sistema que se ha caracterizado, parámetros que se han considerado y resultados obtenidos. La memoria también deberá incluir unas conclusiones que representen las recomendaciones del grupo para el diseño óptimo del sistema. La evaluación de las memorias representará la nota de Laboratorio.

Dedicación: 4h

Grupo pequeño/Laboratorio: 1h

Aprendizaje autónomo: 3h

ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN COMPLETO (TRANSMISOR ÓPTICO+FIBRA ÓPTICA+AMPLIFICADORES+RECEPTOR ÓPTICO)

Descripción:

El objetivo de esta actividad de laboratorio es caracterizar un sistema de transmisión óptico completo, incluyendo también, respecto a la actividad anterior, los amplificadores ópticos. Mediante unos modelos de simulación más avanzados, que también incluyen los amplificadores ópticos, se pretende caracterizar el sistema completo, en términos de probabilidad de error por bit (BER) y diagrama de ojo y también el efecto de la dispersión sobre el sistema.

Objetivos específicos:

- Familiarizarse con un entorno de simulación de sistemas de comunicaciones ópticas .
- Adquirir habilidades de trabajo en grupo.

Material:

Enunciado de la práctica de laboratorio disponible en la plataforma moodle. Programario de simulación VPI.

Entregable:

Al finalizar la práctica de laboratorio, cada grupo deberá entregar una memoria con la descripción de los objetivos de la sesión, esquema del sistema que se ha caracterizado, parámetros que se han considerado y resultados obtenidos. La memoria también deberá incluir unas conclusiones que representen las recomendaciones del grupo para el diseño óptimo del sistema. La evaluación de las memorias representará la nota de Laboratorio.

Dedicación: 3h

Grupo pequeño/Laboratorio: 1h

Aprendizaje autónomo: 2h



ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS WDM

Descripción:

En esta actividad de laboratorio se analizarán sistemas de transmisión óptica basados en la tecnología WDM. En primer lugar se evaluará el impacto del espaciado entre canales WDM en las prestaciones de los sistemas para diferentes tasas de bit. La evaluación se hará básicamente en términos de probabilidad de error (BER). En segundo lugar, considerando sistemas basados en nodos con capacidad de inserción/extracción y conmutación de longitudes de onda (OADMs, OXCs), se deberán caracterizar las prestaciones del sistema completo respecto al número de nodos y el impacto de los efectos no lineales (SPM, XPM, FWM). La sesión de laboratorio se basará en la utilización del programario VPI.

Objetivos específicos:

- Familiarizarse con un entorno de simulación de sistemas de comunicaciones ópticas.
- Adquirir habilidades de trabajo en grupo.

Material:

Enunciado de la práctica de laboratorio disponible en la plataforma moodle, Programario de simulación VPI.

Entregable:

Al terminar la práctica de laboratorio, cada grupo deberá entregar una memoria con la descripción de los objetivos de la sesión, esquema del sistema que se ha caracterizado, parámetros que se han considerado y resultados obtenidos. La memoria también deberá incluir unas conclusiones que representen las recomendaciones del grupo para el diseño óptimo del sistema. La evaluación de las memorias representará la nota de Laboratorio.

Dedicación: 8h

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Aprendizaje autónomo: 6h

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

La evaluación de los alumnos se realizará mediante dos exámenes en formato de prueba escrita que comprenda problemas y preguntas sobre el temario de la asignatura. El primer examen (Examen_1) a medio cuatrimestre y el segundo (Examen_2) al finalizar el curso. Además, el resto de las notas se obtendrá a través de los trabajos/talleres adicionales de clase (Trabajos) y a través de las memorias de las clases de laboratorio (Laboratorio).

Concretamente, la nota final se calculará de la manera siguiente:

$$\text{Nota Final} = (\text{Exam}) * 0,5 + (\text{Laboratorio}) * 0,35 + (\text{Trabajos}) * 0,15$$

Donde se define Exam de la siguiente manera, $\text{Exam} = (\text{Examen}_1) * 0,5 + (\text{Examen}_2) * 0,5$

La evaluación de los alumnos se realizará mediante dos exámenes en formato de prueba escrita que comprenda problemas y preguntas sobre el temario de la asignatura. El primer examen (Examen_1) a medio cuatrimestre y el segundo (Examen_2) al finalizar el curso. Además, el resto de las notas se obtendrá a través de los trabajos/talleres adicionales de clase (Trabajos) y a través de las memorias de las clases de laboratorio (Laboratorio).

Concretamente, la nota final se calculará de la manera siguiente:

$$\text{Nota Final} = (\text{Exam}) * 0,5 + (\text{Laboratorio}) * 0,35 + (\text{Trabajos}) * 0,15$$

Donde se define Exam de la siguiente manera, $\text{Exam} = (\text{Examen}_1) * 0,5 + (\text{Examen}_2) * 0,5$

NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

La asistencia a las sesiones de laboratorio será obligatoria.



BIBLIOGRAFÍA

Básica:

- Senior, John M.; Jamro, M. Yousif. Optical fiber communications: principles and practice. 3rd ed. New York: Prentice Hall, 2008. ISBN 9780130326812.
- Agrawal, G.P. Fiber-optic communication systems [en línea]. 4th ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2010 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a: <https://onlinelibrary-wiley-com.recursos.biblioteca.upc.edu/doi/book/10.1002/9780470918524>. ISBN 9780470505113.
- Keiser, Gerd. Optical fiber communications. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2011. ISBN 9780073380711.
- Ramaswami, Rajiv; Sivarajan, Kumar N.; Sasaki, Galen H. Optical networks : a practical perspective [en línea]. 3rd ed. San Francisco [etc.]: Morgan kaufmann, 2010 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a: <https://www-sciencedirect-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/9780123740922/optical-networks>. ISBN 9780123740922.