

# Prácticas de Sistemas de Comunicación Ópticos

Noviembre 2020

## Presentación y objetivos

El objetivo principal de las prácticas de la asignatura de Sistemas de Comunicación Ópticos es dotar de experiencias prácticas complementarias a los conceptos adquiridos durante el desarrollo de la asignatura. Pero a la vez es importante que las podáis realizar de forma individual y a distancia. Por este motivo os proponemos una práctica que cubre la caracterización básica de un sistema de comunicación óptico mediante simulaciones.

## Descripción del trabajo a realizar

En la práctica se os propone un problema concreto que deberéis solucionar mediante el paquete de simulaciones OptiLux para Matlab/Octave, que podéis encontrar en el fichero ZIP proporcionado. OptiLux es una colección de herramientas *open source* que proporcionan técnicas avanzadas para el diseño, simulación y análisis de sistemas de comunicaciones ópticas.

Con tal de poder realizar la práctica correctamente, os proponemos hacerlo en dos partes diferenciadas: un trabajo previo que es recomendable realizar con anterioridad, y la realización de la práctica en sí. De ahí que el presente documento también contiene dos secciones diferenciadas: estudio previo y realización práctica.

Es importante que os miréis en detalle no solo el ejemplo propuesto si no también la documentación del software de simulación.

## Recursos

Recursos necesarios para desarrollar la práctica:

- Materiales de los módulos 1, 2, 3 y 4.
- Ordenador personal con software de análisis numérico instalado (Matlab/Octave).
- Fichero ZIP que contenga el software de simulación.

## Criterios de valoración

La nota global de prácticas tendrá dos componentes, correspondientes al trabajo previo y a la realización de la práctica. Concretamente el trabajo previo contará un 30 % y la realización de la práctica un 70 %.

## Formato y fecha de entrega

Al finalizar la práctica es necesario realizar un informe detallando el procedimiento seguido y los resultados obtenidos de acuerdo con lo que se os propone en el guión. Este informe se debe entregar en formato DOC; DOCX, ODT o PDF. No os olvidéis de incluir también los *scripts* utilizados y en el formato correspondiente. La fecha límite de entrega es el día 20/12 hasta las 23:59h. Entregad los informes utilizando la opción 'Entrega y registro de EC' del campus.

## Estudio previo

### Instalación de OptiLux

OptiLux es un conjunto de *scripts* en Matlab/Octave para poder realizar simulaciones de sistemas de comunicación ópticos. Para instalarlo debéis tener Matlab o bien Octave previamente instalado. Cuando tengáis Matlab/Octave instalado, descomprimid el fichero ZIP de OptiLux en una carpeta y añadid esta carpeta al *path* de Matlab/Octave:



```
addpath(OLfolder)
```

dónde *OLfolder* es un *string* con el nombre de la carpeta que contiene los *scripts* de OptiLux. Por ejemplo, si descomprimos OptiLux en `C:\OptiLux\` haced que:

```
addpath('C:\OptiLux\')
```

Es importante añadir esta línea al inicio de los *scripts* que generéis con tal de poder garantizar el acceso a todas la funciones del paquete de simulaciones.

## Funcionamiento de OptiLux

El funcionamiento del paquete de simulaciones es bastante simple. Primero es necesario generar los *scripts* de acuerdo con lo que queremos simular, asignando los valores deseados a las variables correspondientes y llamando a las funciones del paquete de simulaciones que queremos ejecutar. Posteriormente solo es necesario ejecutar en el entorno Matlab/Octave los *scripts* generados.

Como veréis, dentro del fichero ZIP proporcionado hay multitud de ejemplos que tratan temas concretos. Por lo que concierne al desarrollo de la práctica, es importante que profundicéis en el ejemplo 6 y en el funcionamiento de sus módulos internos. En este ejemplo se simula un enlace realizado con un sistema de modulación de intensidad y detección directa para un número determinado de tramos iguales amplificados. Es importante que os podáis mirar la documentación sobre los diferentes módulos que intervienen en el ejemplo con la finalidad de entender bien su funcionamiento.

## Preguntas cortas (30 %)

Una vez realizados los pasos anteriores, os pedimos de responder a las siguientes preguntas cortas:

Q1 Comentad como modificaríais los siguientes parámetros:

- Relación de extinción del transmisor.
- Longitud del enlace. Comentar la diferencia entre modificar la longitud de la fibra por cada tramo (o *span*, que corresponde a la separación entre amplificadores) y el número total de tramos.
- Factor de ruido de los amplificadores.
- Potencia inyectada en la fibra.

Q2 Observad que cada tramo de fibra de transmisión viene acompañado por una fibra compensadora de dispersión. Cuando modificamos la longitud de la fibra por cada tramo, ¿es necesario también modificar algún parámetro de la fibra compensadora de dispersión?

Q3 Modificado el ejemplo 6 para tener un enlace de 10 tramos de 100 km de fibra estándar (por defecto), una relación de extinción de 20 dB al transmisor y un factor de ruido de los amplificadores de 3.5 dB. Comentad el diagrama de ojo resultante y la curva de probabilidad de error en función de la OSNR a 0.1 nm. ¿A qué es debido el efecto de ensanchamiento de los niveles altos del diagrama de ojo?

## Realización de la práctica

Para la realización de la práctica os planteamos de realizar una simulación de un sistema IM/DD a 10 Gb/s para un enlace de 1250 km que modelaremos modificando adecuadamente el ejemplo 6 de OptiLux. Así, tendremos un esquema similar al del problema 3 de la segunda prueba de evaluación continuada.

Con este esquema, realizaremos dos optimizaciones importantes para un enlace de larga distancia:

- Optimización del número de tramos en términos de prestaciones (dejando de lado el coste).
- Optimización de la potencia de señal inyectada en la fibra.



## Optimización del número de tramos (40 %)

### Introducción de parámetros

Con tal de adaptarlo al problema 2 de la segunda prueba de evaluación continuada y hacerlo más realista, os proponemos las siguientes variaciones respecto del ejemplo 6 de OptiLux:

- $N_{sym} = 512$ . Especificamos que el número de bits simulados sea de 512 con tal de obtener una BER relativamente buena sin necesitar un tiempo de ejecución excesivo.
- $symbrate=10.7$ . Especificamos la velocidad de transmisión a 10.7 Gb/s (incluyendo FEC).
- Fijad  $N_{span}$  de acuerdo con el número de tramos que especificamos a continuación.
- Fijad  $tx.length$  de acuerdo con las longitudes que especificamos a continuación.
- $tx.alphadB=0.25$ . Especificamos la atenuación de la fibra de transmisión.
- $comp.alphadB=0.4$ . Especificamos la atenuación de la fibra compensadora de dispersión.
- $x.ber=1e-3$ . Determinamos que la BER umbral donde se realizar las medidas de OSNR sea de  $10^{-3}$ , asumiendo que tenemos una cierta capacidad de corrección de errores de acuerdo con el sistema de modulación de intensidad y detección directa propuesto en el enunciado del problema 2 de la segunda prueba de evaluación continuada.
- $x.osnr=15+(-7:15)$ . Especificamos que el margen de OSNR sea de 8 a 30 dB.
- Especificad un factor de ruido de los amplificadores de 5.5 dB, igual que los EDFAs del problema 2 de la segunda prueba de evaluación continuada.
- Especificad la relación de extinción de acuerdo con lo que se os pide a continuación.
- Dejad la potencia de senyal injectada a la fibra en su valor por defecto.

### Realización de las simulaciones

Una vez introducidos los cambios anteriores, os proponemos de analizar los siguientes casos:

- 25 tramos de 50 km
- 20 tramos de 62.5 km
- 10 tramos de 125 km

Para cada caso, se os pide:

- Variad la relación de extinción en un margen que vaya de 10 dB a 20 dB.
  - Dibujad y comentad la OSNR correspondiente a la BER de  $10^{-3}$  en función de la relación de extinción.
  - Determinad cuál es la relación de extinción óptima en cada caso y comentad, si procede, su variación de un caso a otro.
- Dibujad y comentad el diagrama de ojo para la relación de extinción óptima. De todos los casos analizados, ¿en qué caso está más abierto? Justificad vuestra respuesta.
- Dibujad y comentad la curva BER vs OSNR en 0.1 nm para la relación de extinción óptima.
  - Determinad donde corta el BER de  $10^{-3}$ .
  - ¿Cuál es la penalización respecto al caso sin fibra (back-to-back)?
- Determinad cuál es la longitud de la fibra compensadora de dispersión.

De todos los casos analizados, ¿cuál es el que obtiene mejores prestaciones? ¿Porqué?



## Optimización de la potencia inyectada a la fibra (30 %)

En esta parte nos fijaremos en el mejor de los casos anteriores y analizaremos las prestaciones al variar la potencia inyectada a la fibra.

### Introducción de parámetros

Por lo que respecta a los parámetros de la simulación, usaremos los mismos del caso óptimo que habéis encontrado anteriormente. La única diferencia está en que os pedimos realizar diferentes simulaciones variando la potencia de señal inyectada a la fibra en un margen que vaya de los  $-10$  dBm hasta los  $+10$  dBm de acuerdo con el procedimiento que habéis encontrado en el estudio previo.

### Realización de las simulaciones

Una vez introducidos los parámetros necesarios, os pedimos de realizar las simulaciones correspondientes con tal de evaluar las prestaciones del sistema al variar la potencia inyectada a la fibra. En este caso se os pide:

- Dibujad la OSNR correspondiente al corte a BER de  $10^{-3}$  en función de la potencia inyectada. Comentad los resultados.
- ¿Cuál es la potencia óptima de señal inyectado a la fibra?
- Dibujad y comentad el diagrama de ojo obtenido tanto en el caso óptimo como en el peor caso.
- Comentad qué efectos están interviniendo al variar la potencia de señal inyectada a la fibra y justificad vuestra respuesta.