

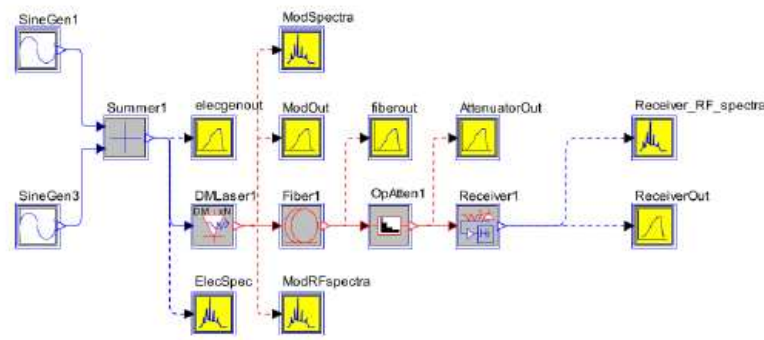
# Redes de Fibra Óptica - 5º Ingenieros de Telecomunicación

## Práctica de OptSim: Soluciones de acceso óptico

### A. Redes HFC: transmisión analógica (SCM) de la señal por el segmento de fibra

#### A.1. Transmisión de 2 canales de TV con modulación directa de la potencia óptica

Carga en OptSim el archivo de nombre TwoToneDirectMod.moml (en RSoft/examples/optsim/block\_mode/CATV/)



El diseño pretende mostrar los productos de distorsión armónica y la distorsión compuesta de segundo orden o CSO (composite second order) en el segmento de fibra de un sistema analógico HFC.

Por simplicidad, se suponen sólo 2 canales de TV y se hace todo el análisis sólo con sus sub-portadoras eléctricas, que están situadas en  $f_1 = 500\text{MHz}$  y  $f_2 = 525\text{MHz}$  y que modulan directamente un láser DFB en 1550nm. La señal se propaga por 40km de fibra y se detecta en un receptor basado en PIN.

Se trata de interpretar las funciones de todos los bloques en el diseño así como de observar la evolución del espectro y la forma temporal de la señal. En particular, en recepción, en el dominio eléctrico, busca los productos de distorsión armónica en  $2f_1$  y  $2f_2$ . Busca también los productos de distorsión CSO en  $f_1 + f_2$  y  $f_2 - f_1$ , comparando este espectro con el de partida. Observa el espectro óptico de la modulación directa del láser.

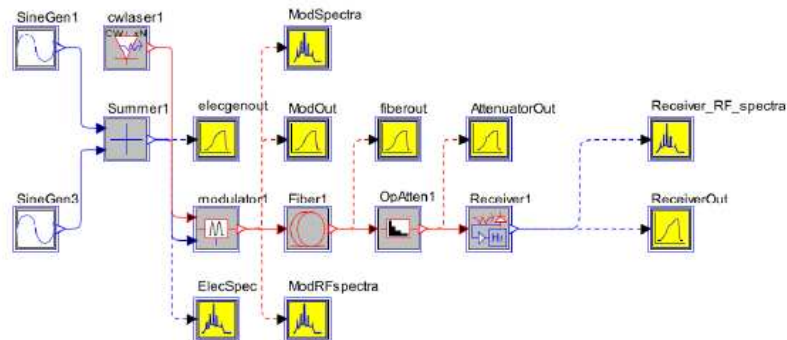
Reduce el índice de modulación de los canales y observa de nuevo los niveles de distorsión así como el espectro óptico (en la interpretación del espectro óptico ten en cuenta que la modulación del láser es en potencia y no en campo eléctrico, pero que cuando el índice de modulación es muy pequeño el espectro óptico debería tender a la forma clásica de una modulación AM como si la modulación hubiese sido de hecho en campo).

#### A.2. Transmisión de 2 canales de TV con modulación externa de la potencia óptica

Carga ahora el diseño de nombre TwoToneExtMod.moml (en RSoft/examples/optsim/block\_mode/CATV/) Igual que en el ejemplo anterior, 2 sub-portadoras a 500MHz y 525MHz modulan la potencia óptica de un láser DFB pero esta vez externamente por medio de un modulador Mach-Zehnder. Nuevamente, la señal se propaga por 40km de fibra óptica y es detectada en un receptor basado en un PIN.

Este diseño pretende demostrar las diferencias, desde el punto de vista de distorsión no lineal, entre la modulación directa del ejemplo anterior y la modulación externa en un sistema analógico HFC (segmento fibra).

Compara el espectro en la salida eléctrica del sistema con el espectro en la entrada eléctrica y extrae conclusiones. ¿Cuál es la fuente principal de distorsión no lineal en este diseño y cómo lo puedes demostrar a partir de esta simulación? Reduce el índice de modulación y observa de nuevo la evolución de la forma temporal de la señal así como los niveles de distorsión.

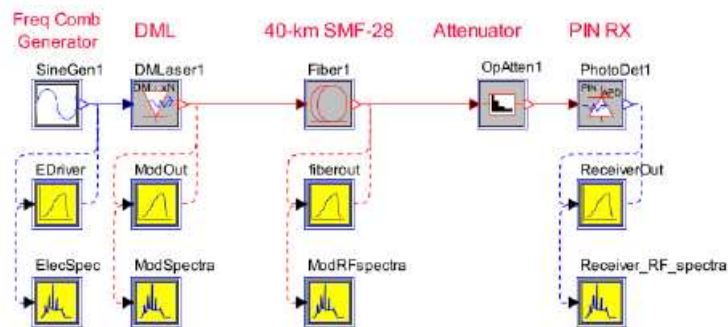


### A.3. Transmisión de 3 canales de TV con modulación directa de la potencia óptica

Ahora, las sub-portadoras de 3 canales de TV, situadas en 62.5MHz, 125MHz y 187.5MHz modulan directamente el láser DBF de 1550nm. La señal se transmite como en los ejemplos anteriores 40km y el receptor está basado en un PIN.

Este diseño busca mostrar la influencia de la linealidad del sistema en la aparición, además de los productos armónicos y distorsión CSO, de la distorsión de tercer orden o CTB (composite triple beat) que también tiene mucha importancia en los sistemas analógicos HFC donde se transmiten muchos canales.

Carga el diseño de nombre ThreeTonesDM\_CS0\_CTB.moml (en RSoft/examples/optsim/block\_mode/CATV/). Comprueba que el valor de CSO = -36dBc y el de CTB = -41dBc.

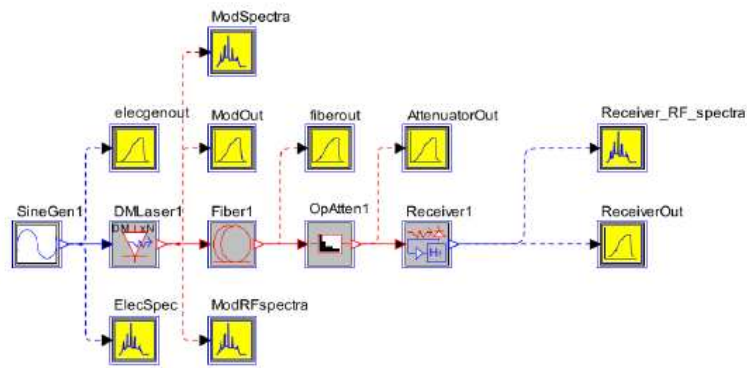


### A.4. Transmisión de 20 canales de TV con modulación directa de la potencia óptica.

Carga analog20ch\_dm.moml (en RSoft/examples/optsim/block\_mode/CATV/). En este diseño se transmiten las 20 sub-portadoras correspondientes a 20 canales de TV en un sistema analógico CATV con modulación directa. El canal número 1 está situado en 500MHz y los siguientes a continuación a intervalos de 6MHz.

Para observar la distorsión total que recae en un canal en particular como consecuencia de la presencia del resto, se apaga el canal número 10 (en 554MHz). Mide el valor de la potencia de distorsión en este punto del espectro. Observa también la influencia de la distorsión no lineal en otros puntos del espectro.

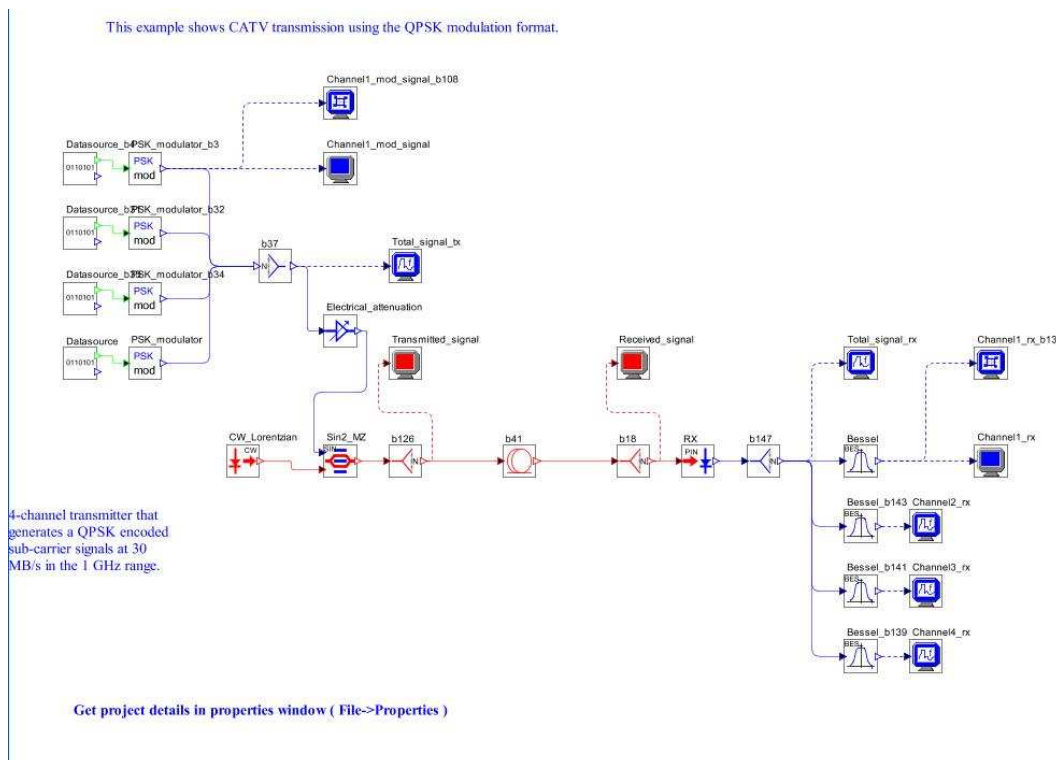
Este diseño pretende generalizar las conclusiones que sobre calidad de transmisión, medida en términos de distorsión no lineal (distorsión armónica, CSO y CTB), se han discutido en los apartados anteriores.



### A.5. Transmisión de 4 canales de TV digital QPSK con modulación externa de la potencia óptica.

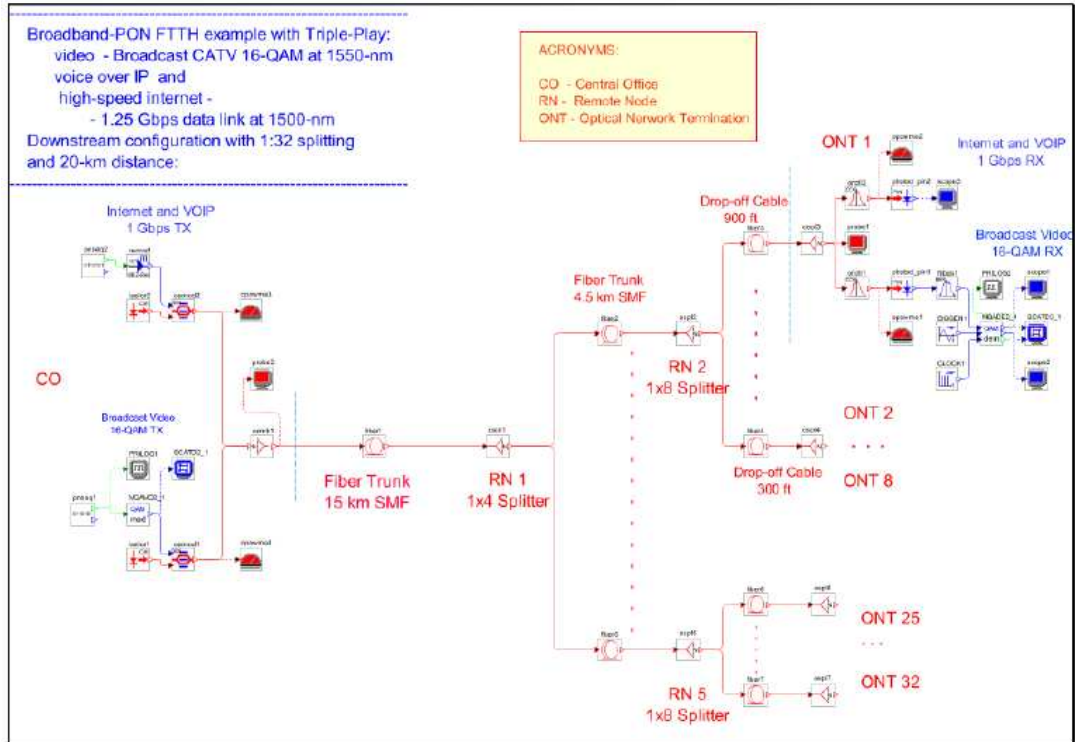
Carga el diseño de RSoft/examples/optsim/sample\_mode/CATV/CATV\_QPSK/ En este caso, se simula la transmisión de 4 canales reales de TV digital (no simplemente de sus sub-portadoras). Los canales están situados en el rango hasta 1GHz y la modulación empleada es QPSK (o, equivalentemente, 4-QAM) a una velocidad por canal de 30Mbps. La modulación es externa y la luz se propaga por un tramo de fibra óptica.

Observa el espectro eléctrico de partida y el de recepción buscando (si los hay) términos de distorsión no lineal y su relación con el plan de frecuencias inicial. Coloca instrumentos en el archivo de partida para demodular la señal de los canales tanto en el extremo transmisor como receptor y poder observar los diagramas de ojo multinivel y las constelaciones I-Q en ambos sitios. Utiliza el bloque de demodulación PSK existente en OptSim y descrito en el anexo de este documento.



## B. Redes ópticas pasivas: redes ópticas pasivas (PON) y soluciones FTTH

En este apartado vamos a simular la transmisión de señales en una red óptica pasiva B-PON (Broadband PON). Para ello carga el diseño disponible en RSoft/examples/optsim/sample\_mode/FTTH/ FTTH\_BPON



En una red PON, el equipamiento opto-electrónico está situado en ambos extremos de la red: la OLT (Optical Line Termination) en la central de conmutación (Central Office, CO) y la ONT (Optical Network Termination) es la casa del usuario final para usuarios residenciales o en las dependencias de la empresa para usuarios del sector de los negocios.

Una única fibra óptica conecta la OLT con hasta 32 ONTs distintas. En este ejemplo, la OLT sirve 32 usuarios y tiene un alcance de 20km. Se conecta la CO con el primer nodo remoto (Remote Node, RN) a 15km de la central. En el primer RN o RN1, un divisor de potencia óptica 1:4 divide la señal hacia 4 tramos de fibra de 4.5km de longitud cada uno (comprueba que las pérdidas de reparto son 6 dB). Al final de estos tramos de fibra, 4 nuevos nodos remotos (RN2,...,RN5) dividen la señal en una relación 1:8 (comprueba que las pérdidas de reparto son 9 dB). Cada uno de los RN2,...,RN5 sirve por tanto 8 usuarios distintos. Los usuarios finales están situados a una distancia aproximada que oscila entre los 30m y 300m.

Esta red B-PON da servicios triple-play (datos, voz y video). En B-PON se usa C-WDM con la componente de datos y voz en una longitud de onda (downstream) en el rango 1480-1500nm (1500nm en este ejemplo) y el video en el rango 1550-1560nm (1550nm en este ejemplo).

En el ejemplo, un enlace de datos a 1.25Gbps en transmisión digital banda base representa el tráfico de alta velocidad de Internet y el servicio de telefonía sobre IP o VoIP. Una señal de 800 Mbps modulada 16-QAM (es decir, 200Mbaudios/s, lo que implica 200MHz de ancho de banda) sobre una sub-portadora eléctrica (SCM) de 1GHz representa el tráfico de video, en este caso, como se puede comprobar, limitado a un único canal de TV.

En el ejemplo, sólo se contempla el equipamiento de una ONT. En realidad, en la red PON total existirían 32 ONTs, una por usuario.

Tras simular el diseño, observa el espectro óptico a la salida de la OLT y a la entrada de la ONT y comenta las diferencias (asegúrate de hacer la representación del espectro con muchos puntos, lo que te permitirá observar también las bandas de modulación para los dos láseres empleados).

## **B.1. Transmisión de la información de datos/voz**

Realiza el balance de potencia óptica entre la OLT y la ONT por lo que respecta a la transmisión correspondiente a datos/voz. Supón que la red PON tuviera que dar servicio a un número mayor de usuarios por lo que se decide sustituir el divisor 1:4 del RN1 por otro 1:N ( $N > 4$ ). Si, por simplicidad en el diseño, el resto de nodos remotos siguen teniendo un divisor 1x8, el número de usuarios finalmente servidos sería  $N \times 8$ . Simula de nuevo el diseño para varios valores de N, recalculando el balance de potencia y observando la evolución del diagrama de ojo de la recepción.

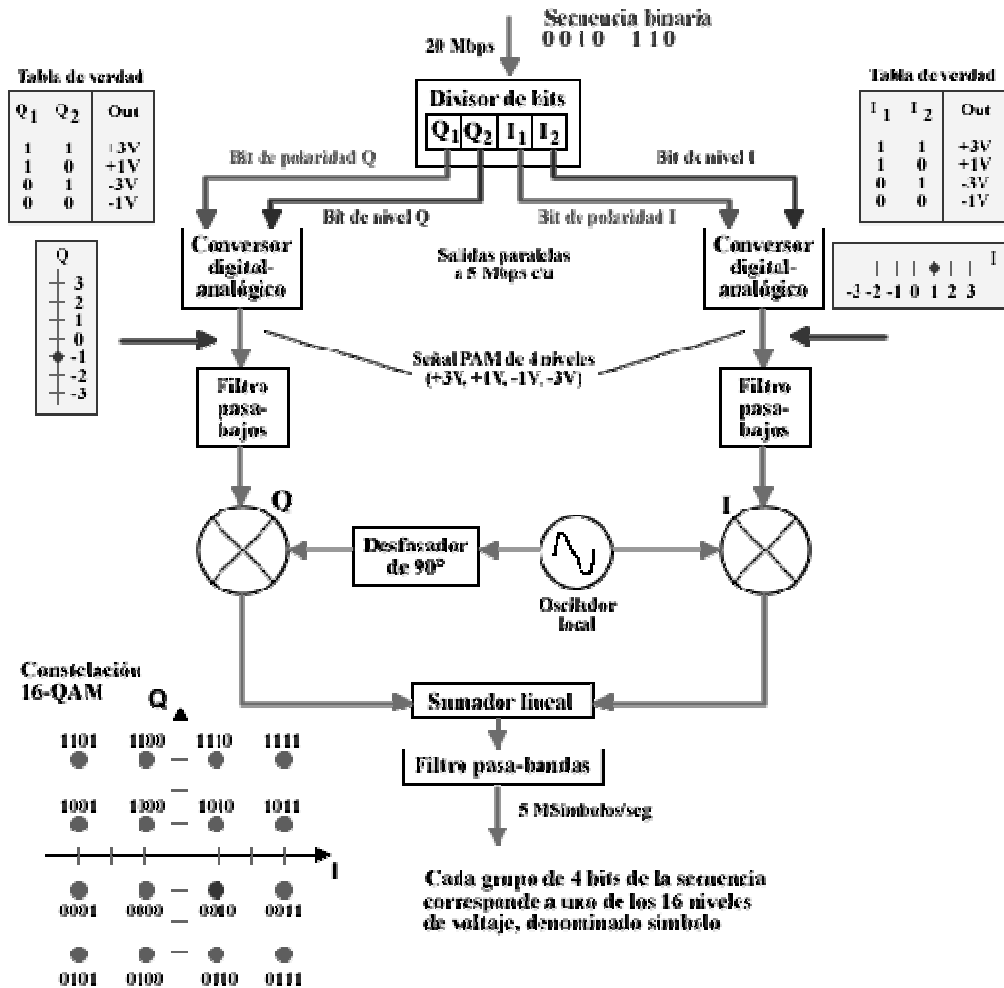
## **B.2. Transmisión de la información de video**

En la OLT observa la señal lógica, el diagrama de ojo multinivel y la constelación I-Q. Compara las representaciones en la ONT con las obtenidas en la OLT. Para ello demodula en ambos extremos la señal usando el bloque de OptSim explicado en el anexo de este documento.

La modulación 64-QAM es en realidad más estándar en la aplicación descrita. Realiza los cambios que creas necesarios en el diseño de partida para adecuar el sistema a este nuevo tipo de modulación digital y toma nuevamente las mediciones de constelaciones I-Q, diagramas de ojo multinivel y señales lógicas en la OLT y en la ONT.

## ANEXO. Modulación digital en banda

Esquema básico de modulación digital QAM (16-QAM en este ejemplo):



Moduladores/Demoduladores QAM y PSK en OptSim:

M-QAM Modulator
<b>Component name: MQAM02</b>
<b>Function:</b> Generates a signal digitally modulated in the M-QAM format (Gray code). The number of levels of the modulation is determined by the dimension of the input logical signal; for this reason, only logical signal having an even number of bits is permitted. In particular: <ul style="list-style-type: none"> <li>. 4-bit logical signals give origin to 16-QAM</li> <li>. 6-bit logical signals give origin to 64-QAM</li> <li>. 8-bit logical signals give origin to 256-QAM</li> </ul>

If a 2-bit logical signal is passed as input, the output signal reduces to a conventional 4-PSK

**Inputs:**

*Lin*: input logical signal containing the information bits

**Outputs:**

*Eout*: M-QAM modulated electrical signal

**Parameters:**

*Frequency [Thz]*: carrier frequency of the generated signal

*Output\_Amplitude*: r.m.s. value of the envelope of the output signal

*Signal Lin logical level*: dimension of the input logical signal i.e. the number of bits per symbol

## M-QAM Demodulator

**Component name: MQADE02**

**Function:**

Takes a M-QAM modulated analytic signal, gets the two quadrature baseband signals and the detected string of bits in an output logical signal.

**Inputs:**

*E\_clock*: clock signal, used to sample the incoming signal for the decision

*E\_carrier*: reference electrical carried used in the demodulation

*E\_signal*: electrical signal to be demodulated

**Outputs:**

*E\_phase*: first analog baseband demodulated electrical signal before sampling and decision; it actually represents the in-phase component of the input signal

*E\_quadrature*: second analog base-band demodulated electrical signal before sampling and decision; it actually represents the quadrature component of the input signal

*L\_out*: logical signal that contains the output bits

**Parameters:**

*Frequency [Thz]*: carrier frequency

*Decision\_threshold*: is the demodulator decision threshold, Th. It must be equal to the distance between two adjacent signals of the constellation.

*Signal L\_out logical level*: is the dimension of the output logical signal, i.e. the number of bits per symbol.

<b>PSK Digital Modulator</b>
<b>Component name: PSKM02</b>
<p><b>Function:</b></p> <p>Generates a signal whose phase is digitally modulated in the PSK format. The number of levels of the modulation is determined by the Level of the input logical signal.</p>
<p><b>Inputs:</b></p> <p><i>Lin</i>: input logical signal containing the information bits</p> <p><b>Outputs:</b></p> <p><i>Eout</i>: PSK modulated electrical signal</p>
<p><b>Parameters:</b></p> <p><i>Frequency [Thz]</i>: carrier frequency of the generated signal.  <i>Output_Amplitude</i>: amplitude of the carrier.  <i>Signal Lin logical level</i>: dimension of the input logical signal, i.e. the number of bits per symbol.</p>

<b>PSK Coherent Demodulator</b>
<b>Component name: PSKDE2</b>
<p><b>Function:</b></p> <p>Takes a PSK modulated signal and gets the two quadrature baseband signals and the detected string of bits in an output logical signal.</p>
<p><b>Inputs:</b></p> <p><i>E_clock</i>: clock signal; it determines the time instants at which sampling for decision is performed  <i>E_carrier</i>: reference electrical carrier used in the demodulation  <i>E_signal</i>: electrical signal to be demodulated</p> <p><b>Outputs:</b></p> <p><i>E_phase</i>: analog electrical demodulated signal (in-phase component)  <i>E_quadrature</i>: analog electrical demodulated signal (quadrature component)  <i>L_out</i>: logical signal that contains the output bits</p>
<p><b>Parameters:</b></p> <p><i>Frequency [Thz]</i>: carrier frequency of the generated signal.</p>



*Signal L\_out logical level.* dimension of the output logical signal, i.e. the number of bits per symbol.

**Nota final:** Los diseños de esta práctica (salvo el A.5) están también disponibles en la versión demo de OptSim que se puede descargar de la página web de la asignatura. Sin embargo, en la versión demo los diseños sólo pueden ejecutarse, no editarse.