

# GUÍA DE ESTUDIO

Transmisión Digital – Grado en Ingeniería Telemática

## Descripción breve

Se incluye un calendario con el plan docente detallado para cada sesión, un listado de materiales utilizados, una descripción de los contenidos cubiertos, de los objetivos de aprendizaje y las actividades planificadas para los estudiantes.

Lugar de depósito de este material: BURJC

Autores: Mihaela I. Chidean y Luis Bote Curiel

Curso 2024-2025





# Índice de contenidos

<b>Bloque 0: Introducción</b>	<b>4</b>
<b>Tema 0 — Introducción a los Sistemas de Comunicación Digitales</b>	<b>4</b>
Día 1	4
<b>Bloque I: Conceptos básicos</b>	<b>6</b>
<b>Tema 1 — Teoría de la Información</b>	<b>6</b>
Día 1	6
Día 2	8
Día 3	10
<b>Tema 2 — Codificación de fuente</b>	<b>12</b>
Día 1	12
Día 2	14
Día 3	15
Día 4	16
Día 5	19
<b>Tema 3 — Codificación de canal</b>	<b>20</b>
Día 1	20
Día 2	21
Día 3	23
Día 4	25
Día 5	26
Días 6 y 7	27
Día 8	30
<b>Bloque II: Conceptos avanzados</b>	<b>32</b>
<b>Tema 4 — Técnicas avanzadas de comunicaciones</b>	<b>32</b>
Día 1	32
Día 2	33
Día 3	35
Día 4	36
Día 5 y 6	38
Día 7	40
<b>Bloque III: Aspectos prácticos</b>	<b>42</b>
<b>Tema 5 — Ingeniería de Sistemas Digitales</b>	<b>42</b>
Día 1	42
Día 2	43
Día 3	44

## Bloque 0: Introducción

### Tema 0 – Introducción a los Sistemas de Comunicación Digitales

#### CALENDARIO

L -9 SEPT-24	M – 10 SEPT-24	X – 11 SEPT-24	J – 12 SEPT-24	V – 13 SEPT-24	S	D
Tema 0 Día 1 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 1 Día 1 Teoría 9:00 – 11:00				
L -16 SEPT-24	M – 17 SEPT-24	X – 18 SEPT-24	J – 19 SEPT-24	V – 20 SEPT-24	S	D
Tema 1 Día 2 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 1 Día 3 Ejercicios G1 - 9:00 – 11:00 G2 - 13:00 – 15:00				
L -23 SEPT-24	M – 24 SEPT-24	X – 25 SEPT-24	J – 26 SEPT-24	V – 27 SEPT-24	S	D

#### PLAN DOCENTE

Día 1		Clase de teoría – duración de 50 minutos efectivos de clase
<p>Materiales utilizados durante la sesión</p>	<p>Transparencias del este tema.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 1”</p>	
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Recordatorio de conceptos clave para esta asignatura que ya han sido impartidos en la asignatura previa de Teoría de la Comunicación.</p> <p>Se recuerdan conceptos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comunicación digital vs. comunicación analógica.</li> <li>Aplicaciones de las comunicaciones digitales.</li> <li>Modelos de sistema de comunicación digital.</li> <li>Criterios de diseño y rendimiento de sistemas de comunicación.</li> <li>Transmisión digital en el modelo OSI.</li> <li>Ventajas y desventajas de la comunicación digital.</li> <li>Modulación y códigos de línea.</li> <li>Interferencia entre símbolos (ISI)</li> <li>Modulación digital en banda base.</li> <li>Eficiencia espectral.</li> <li>Probabilidad de error.</li> <li>Modulación en fase y cuadratura.</li> <li>Ruido en las señales paso-banda.</li> <li>Detección óptima de señales.</li> </ul>	
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Recordar las diferencias clave entre comunicación digital y analógica, aplicando los conceptos ya estudiados en asignaturas previas del grado.</p>	

	<p>Aplicar los conceptos de modulación digital y detección de señales en sistemas de comunicación, con un enfoque en la eficiencia espectral y la probabilidad de error, basándose en técnicas previamente estudiadas.</p> <p>Revisar los modelos de sistema de comunicación digital, recordando la estructura y funcionamiento de los procesos de transmisión y recepción estudiados en asignaturas anteriores.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p>Antes de la sesión</p> <p>-</p> <p>Durante la sesión</p> <p>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p>Después de la sesión</p> <p>Repasar y recordar contenidos impartidos en la asignatura previa de Teoría de la Comunicación.</p> <p>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

## Bloque I: Conceptos básicos

### Tema 1 – Teoría de la Información

#### CALENDARIO

L -9 SEPT-24	M – 10 SEPT-24	X – 11 SEPT-24	J – 12 SEPT-24	V – 13 SEPT-24	S	D
Tema 0 Día 1 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 1 Día 1 Teoría 9:00 – 11:00				
L -16 SEPT-24	M – 17 SEPT-24	X – 18 SEPT-24	J – 19 SEPT-24	V – 20 SEPT-24	S	D
Tema 1 Día 2 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 1 Día 3 Ejercicios G1 - 9:00 – 11:00 G2 - 13:00 – 15:00				
L -23 SEPT-24	M – 24 SEPT-24	X – 25 SEPT-24	J – 26 SEPT-24	V – 27 SEPT-24	S	D
Tema 2 Día 1 Teoría 11:00 – 13:00		Feria de empleo EIF				
L -30 SEPT-24	M – 1 OCT-24	X – 2 SEPT-24	J – 3 OCT-24	V – 4 OCT-24	S	D

#### PLAN DOCENTE

Día 1	Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase
<p>Materiales utilizados durante la sesión</p>	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 1 a la 12.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 1”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Artículo publicado en periódico El Confidencial titulado "El padre de la era digital inventó un wearable en los 60 para forrarse en los casinos" donde se presenta una anécdota de Claude Shannon y Edward Thorp.</p> <p>Enunciado de ejercicio P1 a resolver en clase:</p> <p><b>P1.</b> Dadas dos fuentes, <math>A</math> y <math>B</math>, cuyos eventos, <math>A_i, i = 1, \dots, 4</math> y <math>B_j, j = 1, \dots, 3</math>, se tienen las siguientes probabilidades conjuntas:</p> <p> <math>P(A_1, B_1) = 0.10</math>    <math>P(A_1, B_2) = 0.08</math>    <math>P(A_1, B_3) = 0.13</math>  <math>P(A_2, B_1) = 0.05</math>    <math>P(A_2, B_2) = 0.03</math>    <math>P(A_2, B_3) = 0.09</math>  <math>P(A_3, B_1) = 0.05</math>    <math>P(A_3, B_2) = 0.12</math>    <math>P(A_3, B_3) = 0.14</math>  <math>P(A_4, B_1) = 0.11</math>    <math>P(A_4, B_2) = 0.04</math>    <math>P(A_4, B_3) = 0.06</math> </p> <p>Calcule:</p>

	<p>a) los valores de la información mutua de todas las parejas posibles de eventos <math>I(A_i, B_j)</math> para <math>i = 1, \dots, 4</math> y <math>j = 1, \dots, 3</math></p> <p>b) la información mutua media <math>I(A, B)</math>.</p>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Introducción a la Teoría de la Información                  Explicación de qué es la Teoría de la Información                  ¿Quién es el Claude Shannon, padre de la Teoría de la Información?                  Resumen de contenidos de este Tema</p> <p>Modelos de Fuente de Información (FI)                  Recordatorio diferencia entre determinista/aleatorio.                  Debate por qué las FI son aleatorias.                  Definición de FI discreta, definición de alfabeto <math>L</math> de una fuente y de las probabilidades de ocurrencia de los símbolos. Se presentan varios ejemplos de fuentes discretas.                  Presentación dos modelos de FI concretos: DMS y estadísticamente dependientes.                  Enumeración de características y ejemplos.                  Recordatorio FI (señales) analógicas y su modelado mediante realizaciones de procesos estocásticos. Recordatorio conceptos de autocorrelación y densidad espectral de potencia. Recordatorio teorema de muestreo.</p> <p>Modelo de canal                  Justificación de necesidad de disponer de modelos de canal para entornos digitales.                  Definición de alfabetos de entrada <math>\mathcal{X}</math> y de salida <math>\mathcal{Y}</math>. Relación entre secuencias de entrada y de salida mediante probabilidades condicionadas.                  Características de canal sin memoria, relación con las probabilidades condicionadas.                  Definición y características detalladas del modelo de canal BSC. Tipo de modulación y de decisor empleado, representación gráfica. Modelado del error en el canal mediante parámetro <math>p</math> y relación con las probabilidades condicionadas entre símbolos a la entrada y a la salida del canal.                  Definición y características del modelo de canal DMC, una generalización del BSC.                  Definición y ejemplo de matriz de probabilidades de transmisión. Representación gráfica del modelo.                  Definición y características del modelo de canal <i>Discrete-Input, Continuous Output</i>. Ejemplo concreto de canal AWGN.                  Enumeración breve de otros modelos de canal disponibles.</p> <p>Información                  Intuición del concepto de información de un evento empleando ejemplos cotidianos.                  Definición de medida de información de un evento, fórmula matemática y unidades empleadas (bits y nats).</p> <p>Información mutua                  Intuición del concepto de información mutua en el contexto de la transmisión digital.                  Definición de información mutua entre dos eventos, fórmula matemática y unidades empleadas.                  Desarrollo de información mutua entre dos eventos independientes, entre dos eventos iguales. Demostración que <math>I(x_i; y_i) = I(y_i; x_i)</math> y que <math>I(x_i; x_i) = I(x_i)</math>. Recordatorio de teorema de Bayes.</p> <p>Información mutua media                  Definición de información mutua media entre dos variables aleatorias, fórmula matemática y unidades empleadas.                  Propiedades de la información mutua media.</p>

<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Definir qué es la Teoría de la Información y su importancia en la comunicación y transmisión de datos. Explicar el trabajo de Claude Shannon y su relevancia, y resumir los conceptos clave.</p> <p>Definir FI discreta, el alfabeto <math>L</math> de una fuente, y las probabilidades de ocurrencia de los símbolos. Diferenciar entre modelos de fuente de información DMS, estadísticamente dependientes y analógicas, describiendo sus características.</p> <p>Comprender la necesidad de modelos de canal en entornos digitales y describir cómo estos influyen en la transmisión de información. Definir parámetros asociados, como pueden ser los alfabetos de entrada/salida o las probabilidades de transición. Explicar los canales sin memoria, BSC y DMC, así como el canal AWGN y otros modelos.</p> <p>Desarrollar la intuición del concepto de información de un evento y definir su fórmula matemática y las unidades empleadas.</p> <p>Comprender el concepto de información mutua entre dos eventos en el contexto de la transmisión digital. Definir la información mutua entre dos eventos y las unidades empleadas.</p> <p>Definir la información mutua media entre dos variables aleatorias y su fórmula matemática. Analizar las propiedades de la información mutua media.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p>Antes de la sesión</p> <p>Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: probabilidad y estadística, teorema de Bayes, procesos estocásticos, autocorrelación y densidad espectral de potencia, teorema de muestreo, propiedades de logaritmos.</p> <p>Durante la sesión</p> <p>Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra</p> <p>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p>Después de la sesión</p> <p>Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.</p> <p>Resolver ejercicios y problemas asociados.</p> <p>Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: “BSC”, “Aleatoriedad e información”, “Información mutua”.</p> <p>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

<p><b>Día 2</b> <b>Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase</b></p>	
<p>Materiales utilizados durante la sesión</p>	<p>Transparencias del Tema 1, en concreto de la 13 a la 20.</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado de ejercicio P4 a resolver en clase el apartado (a):</p> <p><b>P4.</b> Considere una fuente discreta sin memoria con alfabeto de fuente <math>L = \{s_0, s_1, s_2\}</math> con probabilidades respectivas <math>1/4, 1/4</math> y <math>1/2</math>. Calcule:</p> <p>a) La entropía de la fuente.</p> <p>b) La entropía de la fuente extendida <math>L^2</math>.</p> <p>Enunciado de ejercicio P8 a resolver en clase:</p> <p><b>P8.</b> Considere un canal AWGN con <math>S/N_0 = 10^4</math> Calcule la máxima tasa de información libre de errores cuando <math>B = 1</math> KHz, <math>10</math> KHz y <math>100</math> KHz.</p>

<p>Contenidos cubiertos</p>	<p><b>Entropía</b></p> <p>Deducción de fórmula de entropía (o información media) y explicación del concepto de entropía en el contexto de la transmisión digital. Definición de unidades empleadas.</p> <p>Aclaración de caso concreto de cómputo de entropía cuando se dispone de un evento con probabilidad de ocurrencia nula.</p> <p>Deducción de valores máximos y mínimos de entropía para v.a. de <math>n</math> símbolos.</p> <p>Razonamiento sobre relación entre entropía, los valores que toman los símbolos de la v.a. y las probabilidades de ocurrencia de los símbolos de la v.a.</p> <p>Enumeración de las principales propiedades de la entropía.</p> <p>Mención breve al cómputo de entropía (e información mutua media) para v.a. continuas.</p> <p>Cálculo y representación de la función entropía binaria <math>H_b(p)</math>.</p> <p><b>Capacidad de canal</b></p> <p>Intuición del concepto de capacidad de canal y relación con el concepto de información mutua media.</p> <p>Definición de capacidad de canal para modelos de canal DMC y unidades empleadas.</p> <p>Segundo Teorema de Shannon – definición y explicación de este teorema. Debate sobre condiciones necesarias para los sistemas prácticos de transmisión digital.</p> <p>Definición de capacidad de canal para modelos de canal AWGN.</p> <p>Cálculo, representación e interpretación de resultados de la capacidad de un canal BSC.</p> <p>Representación e interpretación de capacidad en modelo de canal <i>Discrete-Time Binary-Input</i> AWGN.</p> <p>Representación e interpretación de capacidad en modelo de canal AWGN de banda limitada. Análisis de dependencia de la capacidad con la potencia de transmisión y con el ancho de banda disponible. Deducción de límite de Shannon.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Desarrollar la intuición del concepto de entropía de una fuente de información y definir su fórmula matemática y las unidades empleadas.</p> <p>Conocer y saber deducir los umbrales de la entropía.</p> <p>Calcular el valor de la entropía para fuentes de información DMS, en especial para fuentes binarias. Representar y comprender la función de entropía binaria <math>H_b(p)</math></p> <p>Desarrollar la intuición del concepto de capacidad de canal.</p> <p>Calcular la capacidad de canal en modelos de canal DMC y AWGN. Calcular la capacidad de un canal BSC y representar e interpretar los resultados.</p> <p>Definir y explicar el Segundo Teorema de Shannon y sus implicaciones para sistemas de transmisión digital.</p> <p>Entender relación entre capacidad de canal, potencia y ancho de banda en canales AWGN limitados en banda.</p> <p>Deducir el límite de Shannon e interpretar su relevancia en comunicaciones digitales.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p><b>Antes de la sesión</b></p> <p>Repasar conceptos previos de la asignatura: modelos de canal, información, información mutua, información mutua media.</p> <p><b>Durante la sesión</b></p> <p>Tomar apuntes de explicaciones realizadas y pizarra.</p> <p>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p><b>Después de la sesión</b></p> <p>Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.</p> <p>Resolver ejercicios y problemas asociados.</p> <p>Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: “Entropía”, “Información y Teoría de la Información”.</p>

Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.  
Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.

**Día 3****Clase de resolución de ejercicios – duración de 100 minutos efectivos de clase**

Materiales utilizados durante la sesión

Hoja de ejercicios del Tema 1 disponible en el Aula Virtual. En concreto:

Enunciado de ejercicio P4 a resolver en clase el apartado (b):

**P4.** Considere una fuente discreta sin memoria con alfabeto de fuente  $L = \{s_0, s_1, s_2\}$  con probabilidades respectivas  $1/4, 1/4$  y  $1/2$ . Calcule:

- c) La entropía de la fuente.
- d) La entropía de la fuente extendida  $L^2$ .

Enunciado del ejercicio P13 a resolver en clase:

**P13.** (Primer Parcial 2011/12) - Considere una fuente de información que puede modelarse como un proceso de banda limitada con ancho de banda de 1.5KHz. Dicho proceso se muestrea al doble de la frecuencia de Nyquist y se observa que las muestras toman los valores  $x_i$ , con  $i = \{1, \dots, 6\}$ , con probabilidades respectivas  $P_i = \{0.3, 0.2, 0.2, 0.15, 0.1, 0.05\}$ . Se pide:

- a) Calcular la entropía de la fuente discreta.
- b) Calcular la tasa binaria mínima necesaria para transmitir la información resultante del muestreo. Justifique su respuesta.
- c) Suponiendo un canal AWGN de 10KHz de ancho de banda en el que se transmite con una relación señal a D.E.P. ( $S/N_0$ ) de 40dB, ¿se podría transmitir de forma fiable (libre de errores) la tasa de información calculada en el apartado anterior? Justifique su respuesta.

Enunciado del ejercicio P16 a resolver en clase:

**P16.** (Primer Parcial 2014/15) — Dadas dos v.a. discretas  $X$  e  $Y$ , cuyos símbolos  $x_i$  (con  $i \in \{1,2,3\}$ ) e  $y_j$  (con  $j \in \{1,2\}$ ) tienen las siguientes probabilidades conjuntas:

$$P(x_1, y_1) = 0.15 \quad P(x_1, y_2) = 0.35$$

$$P(x_2, y_1) = 0.05 \quad P(x_2, y_2) = 0.15$$

$$P(x_3, y_1) = 0.20 \quad P(x_3, y_2) = 0.10$$

Se pide:

- a) Calcular la información mutua media  $I(X; Y)$ .
- b) Calcular la entropía de  $X$ ,  $H(X)$ .
- c) Si  $X$  e  $Y$  fueran, respectivamente, la v.a. a la entrada de un canal y la correspondiente v.a. a la salida de dicho canal, ¿qué indicaría en este caso  $I(X; Y)$ ? A la vista de los resultados obtenidos en los apartados a) y b), ¿qué puede decir de dicho canal?

Suponga ahora que  $x_1 = -5$ ,  $x_2 = 0$  y  $x_3 = 5$ ; y que se definen tres nuevas v.a.:

$$Z_A = X + 20$$

$$Z_B = 5 \cdot X$$

$$Z_C = 0.2 \cdot X$$

Razone si las entropías de estas nuevas v.a. son mayores, menores o iguales que  $H(X)$ .

	<p>Enunciado del ejercicio P19 a resolver en clase:</p> <p><b>P19.</b> (Primer Parcial 2018/2019) — Indique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas justificando sus respuestas:</p> <p>a) La capacidad de un canal AWGN con <math>E_b/N_0 = -3dB</math> es 0.</p> <p>b) La información mutua de dos eventos independientes es infinita.</p>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Todos los contenidos vistos en las sesiones de teoría de este tema.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Aplicar los conceptos teóricos previamente estudiados en la resolución de problemas prácticos, mejorando la comprensión de los fundamentos.</p> <p>Desarrollar estrategias efectivas para abordar distintos tipos de ejercicios, identificando las herramientas y fórmulas más adecuadas para cada situación.</p> <p>Resolver ejercicios paso a paso, prestando atención al razonamiento lógico y a la justificación de cada procedimiento utilizado.</p> <p>Identificar y corregir errores comunes en la resolución de problemas, utilizando ejemplos de ejercicios resueltos y análisis de soluciones incorrectas.</p> <p>Colaborar en la discusión y resolución de ejercicios en grupo, fomentando el aprendizaje cooperativo y el intercambio de ideas.</p> <p>Reforzar las habilidades de interpretación y análisis de enunciados de problemas para desglosar los elementos clave necesarios para su resolución.</p> <p>Evaluar y mejorar la velocidad y precisión en la resolución de ejercicios, haciendo énfasis en la optimización del tiempo.</p> <p>Autoevaluar el progreso personal mediante la resolución de ejercicios adicionales y la revisión crítica de los resultados obtenidos.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p>Antes de la sesión</p> <p>Repasar los contenidos vistos en las clases de teoría.</p> <p>Intentar resolver los ejercicios previstos para esta sesión de resolución de ejercicios.</p> <p>Durante la sesión</p> <p>Tomar apuntes de explicaciones realizadas y pizarra.</p> <p>Participar activamente en la sesión, saliendo a la pizarra para compartir resolución propia de los ejercicios con el resto de la clase o aportando ideas/comentarios sobre siguientes pasos en la resolución de cada ejercicio al/la compañero/a que está en la pizarra.</p> <p>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p>Después de la sesión</p> <p>Resolver y entregar ejercicio seleccionado para la evaluación.</p> <p>Resolver ejercicios y problemas asociados.</p> <p>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

## Tema 2 – Codificación de fuente

### CALENDARIO

L -16 SEPT-24	M – 17 SEPT-24	X – 18 SEPT-24	J – 19 SEPT-24	V – 20 SEPT-24	S	D
Tema 1 Día 2 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 1 Día 3 Ejercicios G1 - 9:00 – 11:00 G2 - 13:00 – 15:00				
L -23 SEPT-24	M – 24 SEPT-24	X – 25 SEPT-24	J – 26 SEPT-24	V – 27 SEPT-24	S	D
Tema 2 Día 1 Teoría 11:00 – 13:00		Feria de empleo EIF				
L -30 SEPT-24	M – 1 OCT-24	X – 2 OCT-24	J – 3 OCT-24	V – 4 OCT-24	S	D
Tema 2 Día 2 Teoría 11:00 – 13:00		CLASE SUSPENDIDA				
L -7 OCT-24	M – 8 OCT-24	X – 9 OCT-24	J – 10 OCT-24	V – 11 OCT -24	S	D
Tema 2 Día 3 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 2 Día 4 Ejercicios G1 - 9:00 – 11:00 G2 – 13:00 – 15:00				
L -14 OCT-24	M – 15 OCT-24	X – 16 oct-24	J – 17 OCT -24	V – 18 OCT -24	S	D
Tema 2 Día 5 Prácticas 11:00 – 13:00		Tema 3 Día 1 Teoría 9:00 – 11:00				

### PLAN DOCENTE

Día 1 Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 1 a la 20.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 2”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P1 a resolver en clase:</p> <p><b>P1.</b> Una fuente discreta sin memoria (DMS) tiene un alfabeto de 8 letras (<math>x_i, i = 1, \dots, 8</math>), con probabilidades 0,25 0,20 0,15 0,12 0,10 0,08 0,05 y 0,05. Calcule:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Código de Huffman.</li> <li>Longitud media del código.</li> </ol>

	<p>c) Entropía de la fuente.</p> <p>d) Eficiencia de la codificación.</p>
Contenidos cubiertos	<p>Introducción a la Codificación de Fuente (CF)</p> <p>Explicación del modelo de sistema digital que emplearemos, describiendo la funcionalidad, las entradas y las salidas de cada bloque.</p> <p>Intuición de la necesidad de realizar codificación en un sistema digital para alcanzar una transmisión rápida, confiable y segura.</p> <p>Objetivo de la CF y clasificación en las categorías “sin pérdidas” y “con pérdidas”.</p> <p>CF sin pérdidas</p> <p>Definición códigos de fuente de longitud fija y de longitud variable (o de entropía) para fuentes DMS.</p> <p>Primer Teorema de Shannon – definición y explicación de este teorema. Debate sobre condiciones necesarias para la CF sin pérdidas.</p> <p>Descripción de características de CF: decodificación única, instantáneos y prefijo. Definición de la Desigualdad de Kraft.</p> <p>Teorema de CF para códigos prefijo – definición y explicación de este teorema. Debate sobre condiciones necesarias para la CF sin pérdidas para códigos que cumplen la condición de prefijo.</p> <p>Códigos Huffman</p> <p>Introducción de los códigos Huffman y sus propiedades.</p> <p>Descripción del algoritmo empleando ejemplos prácticos.</p> <p>Codificación Huffman para FI extendidas, descripción del método y explicación del teorema de CF para FI extendidas. Explicación empleando ejemplo práctico.</p> <p>Descripción del proceso de decompresión de una codificación Huffman.</p> <p>Códigos Lempel-Ziv (LZ)</p> <p>Introducción de los códigos LZ y sus propiedades.</p> <p>Descripción del algoritmo empleando ejemplos prácticos.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Explicar el modelo completo de sistema digital básico, describiendo la función de cada bloque y sus entradas y salidas.</p> <p>Entender la necesidad de la codificación en un sistema digital para lograr una transmisión rápida, confiable y segura. Entender los objetivos de la CF y saber clasificarla en las categorías "sin pérdidas" y "con pérdidas", y definir sus objetivos.</p> <p>Definir los códigos de fuente de longitud fija y variable (de entropía) para fuentes DMS. Comprender las características de la CF, como la decodificación única, instantaneidad, y prefijo, y definir la Desigualdad de Kraft.</p> <p>Definir y explicar el Primer Teorema de Shannon y sus implicaciones para la CF sin pérdidas. Definir y explicar el Teorema de CF para códigos prefijo y sus implicaciones para la CF sin pérdidas bajo este enfoque.</p> <p>Comprender las propiedades de los códigos Huffman. Aplicar la codificación Huffman a fuentes DMS. Aplicar la codificación Huffman para FI DMS extendidas y comprender las implicaciones con respecto al Teorema de CF sin pérdidas.</p> <p>Comprender las propiedades de la codificación LZ. Aplicar la codificación LZ a secuencias binarias. Explicar la relevancia de la codificación LZ en la compresión de datos.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p>Antes de la sesión</p> <p>Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: modelos de fuentes de información DMS, entropía</p>

	<p><b>Durante la sesión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra</li> <li>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</li> </ul> <p><b>Después de la sesión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.</li> <li>Resolver ejercicios y problemas asociados.</li> <li>Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: “intuición Codificación de Fuente”, “codificación Huffman”, “codificación LZ”, “impacto de LZ en compresores de datos”.</li> <li>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</li> <li>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</li> </ul>
--	---

Día 2 <span style="float: right;">Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase</span>	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 21 a la 24.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 2”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio a resolver en clase:</p> <p>Considere las siguientes tres señales de entrada a un cuantificador uniforme <i>midrise</i>, asumiendo modelo de ruido uniforme y conocidos <math>x_{SC}</math> y <math>A</math>. Calcule la SNR y particularice el resultado para <math>B = 4</math> bits.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>x(t) = A_1 \cos(2\pi f_0 t)</math>. Se puede asumir que <math>x_{\{SC\}} = A_1</math></li> <li><math>x(t)</math> es una realización de un proceso estocástico <math>X \sim U[-x_{SC}, x_{SC}]</math>.</li> <li><math>x(t)</math> es una realización de un proceso estocástico <math>X \sim N(0, \sigma^2)</math>.</li> </ol>
Contenidos cubiertos	<p>FI continuas</p> <p>Recordatorio FI analógicas y la necesidad de digitalizarla para poder transmitirlas por un sistema digital. Recordatorio muestreo e interpolación.</p> <p>Conversión Analógico/Digital (A/D)</p> <p>Descripción del proceso de conversión A/D, ejemplo basado en PCM.</p> <p>Clasificación de tipología de cuantificadores. Definición de parámetros de cuantificadores, con énfasis en cuantificación uniforme <i>midrise</i>.</p> <p>Definición de error de cuantificación (granular y de sobrecarga). Definición de relación señal a ruido de cuantificación.</p> <p>Definición de modelo de ruido uniforme y desarrollo de relación señal a ruido de cuantificación específica para esta situación.</p> <p>Análisis del ruido de cuantificación en el dominio de la frecuencia e impacto del sobremuestreo en la relación señal a ruido de cuantificación.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Describir el proceso de conversión A/D, clasificando los tipos de cuantificadores y analizando los parámetros clave.</p> <p>Definir el error de cuantificación, el modelo de ruido uniforme y la relación señal a ruido de cuantificación.</p>

	Evaluar el impacto del ruido de cuantificación en el dominio de la frecuencia y explicar cómo el sobremuestreo mejora la relación señal a ruido
Actividades planificadas para los estudiantes	<p>Antes de la sesión</p> <p>Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: modelos de fuentes de información continuas, muestreo, interpolación, relación señal a ruido.</p> <p>Durante la sesión</p> <p>Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra</p> <p>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p>Después de la sesión</p> <p>Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.</p> <p>Resolver ejercicios y problemas asociados.</p> <p>Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: “Cuantificación”, “Cuantificación parte 2”, “ADC”.</p> <p>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

Día 3 Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 25 a la 42.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 2”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio a resolver en clase:</p> <p>Función tasa-distorsión con distorsión infinita. Calcule la función tasa distorsión <math>R(D)</math> para una v.a. <math>X \sim \text{Bernoulli}(1/2)</math> y distorsión definida como:</p> $d(x, \hat{x}) = \begin{cases} 0, & x = \hat{x} \\ 1, & x = x_1 \text{ y } \hat{x} = x_0 \\ \infty, & x = x_0 \text{ y } \hat{x} = x_1 \end{cases}$
Contenidos cubiertos	<p>CF con pérdidas</p> <p>Definición de la medida de distorsión como concepto general y con ejemplos particulares.</p> <p>Explicación y definición de la Función de tasa-distorsión.</p> <p>Tercer Teorema de Shannon – definición y explicación de este teorema. Debate sobre su implicación para la CF con pérdidas.</p> <p>Explicación de función tasa-distorsión y distorsión-tasa para una fuente gaussiana con distorsión cuadrática.</p> <p>Explicación, definición y debate sobre las cotas de la función tasa-distorsión.</p> <p>Codificación de Fuente Audiovisual</p> <p>Aplicación de conceptos vistos en esta asignatura en el contexto y con ejemplos concretos de las fuentes audiovisuales, en concreto:</p> <p>Proceso de digitalización de una señal continua, tipos de cuantificación (escalar o vectorial). Definición de CODEC. Compresión de fuentes audiovisuales. Tipos de redundancia (de codificación, espacial/temporal y perceptual) e impacto en la compresión.</p> <p>Codificación de voz. Codificadores de forma de onda y paramétricos. Estándares.</p> <p>Codificación de imagen, modelos de color y métodos de compresión de imágenes.</p>

Objetivos de aprendizaje	<p>Definir la medida de distorsión y explicar su importancia en la codificación de fuente con pérdidas, con ejemplos específicos.</p> <p>Explicar el Tercer Teorema de Shannon y discutir sus implicaciones para la codificación con pérdidas en términos de tasa y distorsión.</p> <p>Explicar el proceso de digitalización y los tipos de cuantificación aplicados a fuentes audiovisuales.</p> <p>Describir conceptos básicos de CODEC y los tipos de redundancia en la compresión audiovisual.</p> <p>Identificar los métodos principales de codificación de voz y compresión de imágenes.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p><b>Antes de la sesión</b></p> <p>Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: cuantificación y error de cuantificación, Primer Teorema de Shannon.</p> <p><b>Durante la sesión</b></p> <p>Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra</p> <p>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p><b>Después de la sesión</b></p> <p>Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.</p> <p>Resolver ejercicios y problemas asociados.</p> <p>Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: "CODEC", "CODEC hw vs sw" y "Repaso TI y CF".</p> <p>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

<b>Día 4 Clase de resolución de ejercicios – duración de 100 minutos efectivos de clase</b>	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Hoja de ejercicios del Tema 2 disponible en el Aula Virtual. En concreto:</p> <p>Enunciado del ejercicio P11 a resolver en clase:</p> <p><b>P11.</b> (Primer Parcial 2012/13) — Responda a las siguientes cuestiones teóricas:</p> <p>a) Suponga que existen cuatro sistemas que requieren la transmisión de voz y/o audio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema 1: transmisión de voz y audio sin restricción en tasa binaria.</li> <li>• Sistema 2: transmisión de voz con baja tasa binaria.</li> <li>• Sistema 3: transmisión de voz con baja tasa binaria y mínimo retardo.</li> <li>• Sistema 4: transmisión de voz sin restricción en tasa binaria.</li> </ul> <p>y que usted dispone de cuatro codecs de voz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• G.711 → <math>R = 64Kbps</math>; <math>f_s = 8KHz</math>.</li> <li>• G.723.1 → <math>R = 5.3/6.3 Kbps</math>; <math>f_s = 8KHz</math>; <math>TV = 3ms</math></li> <li>• G.729 → <math>R = 8Kbps</math>; <math>f_s = 8KHz</math>; <math>TV = 10ms</math></li> <li>• Speex → <math>R = 2.15</math> a <math>44.2Kbps</math>; <math>f_s = 8/16/32 KHz</math>; <math>TV = 30/34 ms</math></li> </ul> <p>donde <math>R</math> = Tasa Binaria, <math>f_s</math> = Frecuencia de Muestreo y <math>TV</math> = Tamaño de Ventana. Indique qué codec utilizaría en cada sistema. Razone sus respuestas.</p>

- b) Indique, de forma breve, en qué consiste el método de codificación de voz paramétrico LPC (*Linear Prediction Coding*). ¿Qué información es la que se transmite con esta codificación?

Enunciado del ejercicio P17 a resolver en clase:

**P17.** (Primer Parcial 2014/15) – Considere una fuente de información  $X$  que puede modelarse como un proceso de banda limitada con ancho de banda de  $W$  Hz. Tras el muestreo de dicho proceso (a la frecuencia de muestreo mínima), se observa que las muestras toman los valores  $x_i$ , con  $i = \{1, \dots, 7\}$ , con probabilidades respectivas  $P_i = \{0.25, 0.24, 0.06, 0.19, 0.04, 0.12, 0.1\}$ . Se pide:

- Calcular la codificación Huffman de esta fuente y la longitud media alcanzada con dicha codificación.
- Definir codificación de fuente sin pérdidas y codificación de fuente con pérdidas.
- ¿Cuál es la longitud media mínima (teórica) que se puede alcanzar en una codificación sin pérdidas de la fuente  $X$ ? Indique el proceso para aproximarse a esa longitud media mínima (no hace falta que realice dicho proceso).

Suponiendo que el flujo de bits resultante de la codificación de fuente (codificación Huffman) pasa a través de un codificador de canal Golay (23,12) y se transmite, a través de un canal ideal paso banda de 160KHz, mediante una modulación RZ paso banda de 16 niveles,

- Calcular el máximo valor de  $W$  (ancho de banda de la fuente de información).
- Independientemente de los apartados anteriores, ¿cuál sería la relación señal a ruido (en dB) mínima para transmitir a 480Kbps de forma fiable a través de un canal AWGN paso banda de 160KHz de ancho de banda?

Enunciado del ejercicio P22 a resolver en clase:

**P22.** (Parcial 1 2016/17) — Considere un cuantificador uniforme, midrise, de 3 bits por muestra, con un margen dinámico de 12V. Se pide:

- Suponiendo que al cuantificador entra una señal analógica (muestreada a la frecuencia de Nyquist,  $f_s$ ) que produce un error de cuantificación con la siguiente función densidad de probabilidad:

$$\rho(e) = \begin{cases} 0.1, & |e| \leq 0.5 \\ 0.3, & 0.5 < |e| \leq 1.5 \\ 0.6, & 1 < |e| \leq 1.5 \\ 0, & \text{Resto} \end{cases}$$

calcular la potencia de ruido (o del error) de cuantificación.

- Razonar la modificación más efectiva del cuantificador para reducir el ruido de cuantificación
- Definir en qué consiste la cuantificación vectorial, así como los conceptos de centroides y codebook.

Enunciado del ejercicio P25 a resolver en clase:

**P25.** (Primer Parcial 2017/18) Considere un cuantificador uniforme, midrise, de 3 bits por muestra, con un margen dinámico de  $2V$ . Se pide:

	<p>a) Representar de forma gráfica la relación entre <math>x</math> (la amplitud de la señal de entrada al cuantificador) y <math>Q(x)</math> (la amplitud de la señal de salida del cuantificador).</p> <p>b) Suponiendo que al cuantificador entra una señal analógica, cuya amplitud (en voltios) sigue la siguiente función densidad de probabilidad</p> $\rho(x) = \begin{cases} 0.375, & 0 \leq x \leq 2 \\ 0.125, & 2 < x \leq 4 \\ 0, & \text{Resto} \end{cases}$ <p>calcular la potencia de ruido (o error) de cuantificación. (Nota: puede dejar indicadas todas las integrales involucradas en el cálculo de este ruido).</p> <p>c) Determinar si existe ruido de sobrecarga y razonar la modificación más efectiva del cuantificador para reducir el ruido del cuantificador.</p> <p>d) Enumerar las principales características de la cuantificación escalar y de la cuantificación vectorial para fuentes de información audiovisual.</p>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Todos los contenidos vistos en las sesiones de teoría de este tema.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Aplicar los conceptos teóricos previamente estudiados en la resolución de problemas prácticos, mejorando la comprensión de los fundamentos.</p> <p>Desarrollar estrategias efectivas para abordar distintos tipos de ejercicios, identificando las herramientas y fórmulas más adecuadas para cada situación.</p> <p>Resolver ejercicios paso a paso, prestando atención al razonamiento lógico y a la justificación de cada procedimiento utilizado.</p> <p>Identificar y corregir errores comunes en la resolución de problemas, utilizando ejemplos de ejercicios resueltos y análisis de soluciones incorrectas.</p> <p>Colaborar en la discusión y resolución de ejercicios en grupo, fomentando el aprendizaje cooperativo y el intercambio de ideas.</p> <p>Reforzar las habilidades de interpretación y análisis de enunciados de problemas para desglosar los elementos clave necesarios para su resolución.</p> <p>Evaluar y mejorar la velocidad y precisión en la resolución de ejercicios, haciendo énfasis en la optimización del tiempo.</p> <p>Autoevaluar el progreso personal mediante la resolución de ejercicios adicionales y la revisión crítica de los resultados obtenidos.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p>Antes de la sesión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Repasar los contenidos vistos en las clases de teoría.</li> <li>Intentar resolver los ejercicios previstos para esta sesión de resolución de ejercicios.</li> </ul> <p>Durante la sesión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tomar apuntes de explicaciones realizadas y pizarra.</li> <li>Participar activamente en la sesión, saliendo a la pizarra para compartir resolución propia de los ejercicios con el resto de la clase o aportando ideas/comentarios sobre siguientes pasos en la resolución de cada ejercicio al/la compañero/a que está en la pizarra.</li> <li>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</li> </ul> <p>Después de la sesión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Resolver y entregar ejercicio seleccionado para la evaluación.</li> <li>Resolver ejercicios y problemas asociados.</li> <li>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</li> <li>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</li> </ul>

Día 5 Clase de prácticas – duración de 100 minutos efectivos de clase	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Enunciado de la práctica disponible en el Aula Virtual.</p> <p>Archivos de ayuda para la práctica disponibles en el Aula Virtual. En concreto: <code>parte1_estudiantes.m</code> y <code>parte2_estudiantes.m</code></p> <p>Herramientas de ayuda de Matlab®, accesibles a través de las instrucciones <code>help</code> y <code>doc</code>.</p>
Contenidos cubiertos	<p>CF sin pérdidas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementación de codificación Huffman empleando varios métodos y funciones disponibles en Matlab®</li> <li>Cálculo de parámetros relacionados con la codificación y estudio de la eficiencia de codificación.</li> </ul> <p>Conversión A/D – PCM y DPCM</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementación de conversión A/D empleando PCM y DPCM</li> <li>Barrido de parámetros del cuantificador y estudio del error cuadrático medio de cuantificación.</li> </ul>
Objetivos de aprendizaje	<p>Aprender a desarrollar códigos Huffman mediante Matlab® y a realizar una codificación y decodificación de fuente con dichos códigos.</p> <p>Visualizar (y comprender) el proceso de cuantificación que se realiza en la conversión analógico/digital, en concreto el método basado en PCM. Se trabajará también con una codificación diferencial para estudiar el método basado en DPCM.</p> <p>Mejorar las habilidades de programación en MATLAB, siendo capaz de generar código/s optimizado/s, fácilmente generalizable/s y siempre que sea posible empleando cálculo matricial.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p><b>Antes de la sesión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Repasar los contenidos vistos en las clases de teoría.</li> <li>Recordar conocimientos de Matlab®, revisar pestaña “Material ayuda Matlab” del Aula Virtual y como mínimo realizar las actividades del curso de Matlab Onramp.</li> <li>Leer enunciado de la práctica, repasar los scripts puestos a disposición del estudiantado y empezar a resolver la práctica.</li> </ul> <p><b>Durante la sesión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Resolver los ejercicios e hitos propuestos en el enunciado.</li> <li>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</li> </ul> <p><b>Después de la sesión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Finalizar los ejercicios e hitos propuestos en el enunciado, en caso de no haberlos podido finalizar durante la sesión.</li> <li>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</li> <li>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</li> </ul>

## Tema 3 – Codificación de canal

### CALENDARIO

L -14 OCT-24	M – 15 OCT-24	X – 16 OCT-24	J – 17 OCT-24	V – 18 OCT-24	S	D
Tema 2 Día 5 Prácticas 11:00 – 13:00		Tema 3 Día 1 Teoría 9:00 – 11:00				
L -21 OCT -24	M – 22 OCT-24	X – 23 OCT-24	J – 24 OCT-24	V – 25 OCT-24	S	D
Tema 3 Día 2 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 3 Día 3 Teoría 9:00 – 11:00				
L - 28 OCT-24	M – 29 OCT-24	X – 30 SEPT-24	J – 31 OCT-24	V – 1 NOV-24	S	D
Tema 3 Día 4 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 3 Día 5 Teoría 9:00 – 11:00		FESTIVO		
L -4 NOV-24	M – 5 NOV-24	X – 6 NOV-24	J – 7 NOV-24	V – 8 NOV-24	S	D
Tema 3 Día 8 Prácticas 11:00 – 13:00		Tema 3 Día 6 Ejercicios G1 - 9:00 – 11:00 G2 – 13:00 – 15:00				
L -11 NOV-24	M – 12 NOV-24	X – 13 NOV-24	J – 14 NOV-24	V – 15 NOV-24	S	D
Tema 3 Día 7 Ejercicios G1 - 11:00 – 13:00 G2 – 13:00 – 15:00		Tema 4 Día 1 Teoría 9:00 – 11:00				

### PLAN DOCENTE

Día 1		Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase
Materiales utilizados durante la sesión	Transparencias del este tema, en concreto de la 1 a la 9.  Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 3”  Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.	
Contenidos cubiertos	Introducción a la Codificación de Canal (CC) Explicación del modelo de sistema digital que emplearemos, describiendo la funcionalidad, las entradas y las salidas de cada bloque. Recordatorio de conceptos fundamentales impartidos en sesiones previas de la asignatura, como la capacidad de canal y diversos modelos de canal	

	<p>Objetivo de la CC, explicación de las dos funcionalidades principales ARQ y FEC. Descripción de dos métodos para alcanzar objetivo de la CC: conformación de la forma de onda de los símbolos de una constelación e introducción de redundancia.</p> <p>Conformación de la forma de onda de los símbolos</p> <p>Recordatorio de concepto de constelación y de coeficiente de correlación cruzada entre dos señales</p> <p>Definición y explicación de constelación antipodal y constelación ortogonal.</p> <p>Explicación método de generación de constelaciones ortogonales y biortogonales basado en matrices de Hadamard.</p> <p>Estudio de la probabilidad de error (BER).</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Explicar el modelo completo de sistema digital básico, describiendo la función de cada bloque y sus entradas y salidas.</p> <p>Entender los objetivos de la CC. Diferenciar entre los dos métodos principales de control de errores: ARQ y FEC.</p> <p>Entender que la conformación de la forma de onda de los símbolos de una constelación es un método que también contribuye a los objetivos de la CC.</p> <p>Describir y diferenciar entre constelaciones antipodales y ortogonales.</p> <p>Entender el método de generación de constelaciones ortogonales y biortogonales basado en matrices de Hadamar.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p>Antes de la sesión</p> <p>Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: modelos de canal y capacidad de canal, constelaciones.</p> <p>Durante la sesión</p> <p>Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra</p> <p>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p>Después de la sesión</p> <p>Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.</p> <p>Resolver ejercicios y problemas asociados.</p> <p>Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: "ARQ"</p> <p>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

Día 2	
<b>Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase</b>	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 10 a la 28.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de "Apuntes adicionales del Tema 3"</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P1 a resolver en clase:</p> <p><b>P1.</b> La matriz generatriz <math>G</math> de un código lineal binario es:</p>

	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$ <p>Se pide:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Expresar <math>G</math> en su forma sistemática (sin cambiar el orden de los bits de paridad).</li> <li>Determinar la matriz <math>H</math> para este código.</li> <li></li> <li>Determinar la distancia mínima del código.</li> <li>Demostrar que la palabra código correspondiente a la secuencia de información <math>[1 \ 0 \ 1]</math> es ortogonal a <math>H</math>.</li> </ol>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>CC mediante introducción de redundancia Concepto intuitivo de este método de CC y clasificación de los diferentes algoritmos.</p> <p>Codificación por Bloque Lineal Definición de notación y relación entre CC por bloque lineal y conceptos de espacio vectorial. Definición de los parámetros <math>n</math> y <math>k</math> para códigos bloque. Propiedades algebraicas de los códigos lineales. Estructura sistemática de las palabras código. Códigos lineales. Códigos sistemáticos. Intuición del impacto de la CC en parámetros de la secuencia binaria: tiempo de bit, energía de bit, tasa binaria, ancho de banda. Concepto de ganancia de codificación. Ejemplos de CC por bloque lineal, como son el Código de comprobación de paridad y el Código de repetición, describiendo la tabla de codificación, ejemplos de detección y corrección de errores y el circuito codificador empleando registros electrónicos. Definición de matriz generadora, uso de la matriz generadora en la codificación y estructura de la matriz generadora para un código bloque lineal sistemático. Definición de matriz de comprobación de paridad y su utilidad en el proceso de detección y corrección de errores. Estructura de la matriz de comprobación de paridad para un código bloque lineal sistemático. Definición del concepto de síndrome y su utilidad en el proceso de detección y corrección de errores. Propiedades algebraicas de los códigos lineales y su relación con la matriz generadora y la matriz de comprobación de paridad. Definición de conceptos de peso de Hamming de un vector binario, distancia de Hamming y distancia de Hamming mínima para un CC bloque lineal. Relación entre la distancia de Hamming mínima y la capacidad de detección y corrección de errores de un CC bloque lineal.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Comprender y describir el concepto intuitivo de realizar CC mediante la introducción de redundancia en la secuencia binaria clasificar los diferentes algoritmos asociados con este método.</p> <p>Definir la notación asociada a la codificación por bloque lineal y relacionar estos conceptos con el espacio vectorial. Explicar las propiedades algebraicas de los códigos lineales.</p> <p>Describir el impacto de la CC en los principales parámetros de una comunicación digital y describir el concepto de ganancia de codificación.</p> <p>Analizar ejemplos de codificación por bloque lineal, como los códigos de comprobación de paridad y de repetición, utilizando tablas de codificación y mostrando cómo se detectan y corrigen los errores.</p> <p>Definir la matriz generadora y su uso en la codificación, así como la matriz de comprobación de paridad y su uso en la detección de errores.</p>

	<p>Definir el concepto de síndrome y su utilidad en el proceso de detección y corrección de errores.</p> <p>Definir el peso de Hamming y la distancia de Hamming, calcular la distancia mínima de Hamming de un código bloque lineal, y relacionar estos conceptos con la capacidad de detección y corrección de errores de un código por bloque lineal.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p><b>Antes de la sesión</b>                  Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: espacios vectoriales, operaciones algebraicas con vectores y matrices.</p> <p><b>Durante la sesión</b>                  Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra                  Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p><b>Después de la sesión</b>                  Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.                  Resolver ejercicios y problemas asociados.                  Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: “codificación de canal” y “Detección y corrección de errores”                  Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.                  Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

<b>Día 3 Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase</b>	
<p>Materiales utilizados durante la sesión</p>	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 29 a la 35.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 3”</p> <p>Artículo Peterson, W. W., &amp; Brown, D. T. (1961). Cyclic codes for error detection. <i>Proceedings of the IRE</i>, 49(1), 228-235.</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P1 a resolver en clase:</p> <p><b>P1.</b> La matriz generatriz <math>G</math> de un código lineal binario es:</p> $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$ <p>Se pide:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li></li> <li></li> <li>Construir la tabla de los síndromes de dicho código.</li> </ol> <p>Enunciado del ejercicio P11 a resolver en clase:</p> <p><b>P11.</b> (Primer Parcial 2012/13) — Considere un código cíclico (7,4) definido por el siguiente polinomio generador:</p>

	$g(D) = D^3 + D + 1$ <p>Se pide: (Justifique todas sus respuestas.)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Calcular la secuencia de bits transmitida cuando el bloque de datos a la entrada del codificador es [0 1 0 1].</li> <li>Calcular la secuencia de bits transmitida cuando el bloque de datos a la entrada del codificador es [0 1 0 1]. suponiendo que el código cíclico es sistemático.</li> <li>Si, en un sistema de comunicaciones que utilizara el código cíclico no sistemático, se recibiera el bloque de bits [1 0 0 1 1 1 0], ¿habría existido un error en la comunicación? (Responda a esta respuesta sin recurrir a lo respondido en los apartados anteriores.) ¿Cuál sería la secuencia de bits de información recibida?</li> <li>Partiendo de su respuesta en el apartado anterior, razone si hubiera existido error en la comunicación si el bloque recibido hubiera sido [1 1 1 0 1 0 0], [1110100].</li> </ol>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Codificación por Bloque Lineal Algoritmos de corrección de errores, en especial “fuerza bruta” y empleando tabla de decodificación y tabla de síndromes. Definición y propiedades de códigos de Hamming. Generación de código de Hamming</p> <p>Codificación por Bloque Cíclica Notación polinómica empleada para la CC por bloque cíclica. Propiedad de desplazamiento cíclico de palabras código de un CC por bloque cíclica. Decodificación de CC por bloque cíclica empleando síndrome y tabla de decodificación. Definición, procedimiento de codificación y propiedades de códigos cíclicos sistemáticos. Descripción de esquema basado en registros de desplazamiento de la codificación y decodificación de un CC cíclico sistemático.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Comprender el proceso de decodificación de un CC por Bloque Lineal y diferenciar entre método de “fuerza bruta” y empleando tabla de decodificación o tabla de síndromes. Definir y explicar los códigos de Hamming, comprender sus propiedades y describir el proceso de generación de este tipo de códigos. Comprender y aplicar la notación polinómica para describir códigos cíclicos y entender la propiedad de desplazamiento cíclico de las palabras código en este tipo de codificación. Decodificar códigos cíclicos utilizando síndromes y tablas de decodificación para corregir errores en un código cíclico. Describir el procedimiento de codificación, las propiedades y la estructura de los códigos cíclicos sistemáticos.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p>Antes de la sesión Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: propiedades algebraicas de códigos bloque lineales, peso de Hamming, distancia de Hamming, distancia mínima de Hamming, definición y estructura de <math>G</math> y <math>H</math>, códigos sistemáticos.</p> <p>Durante la sesión Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p>Después de la sesión Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión. Resolver ejercicios y problemas asociados.</p>

	<p>Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: “Código Reed-Solomon”</p> <p>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>
--	--

Día 4 Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 36 a la 59.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 3”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P4 a resolver en clase:</p> <p><b>P4.</b> Un código convolucional está descrito por:</p> $g_1 = [1 \ 0 \ 0] \quad g_2 = [1 \ 0 \ 1] \quad g_3 = [1 \ 1 \ 1]$ <ol style="list-style-type: none"> <li>Dibujar el codificador correspondiente a este código.</li> <li>Dibujar el diagrama de transición de estados.</li> <li>Dibujar el diagrama de Trellis.</li> <li>Encontrar la función de transferencia.</li> </ol>
Contenidos cubiertos	<p>Otros CC por Bloque</p> <p>Descripción y propiedades de códigos CRC, Golay, BCH y Reed Solomon.</p> <p>CC convolucional</p> <p>Descripción de principales diferencias entre CC por bloques y convolucional. Definición de principales parámetros de un código convolucional <math>n</math>, <math>k</math>, y <math>K</math>.</p> <p>Descripción y construcción mediante ejemplos de diversas formas de representación de un código convolucional: representación con conexiones, diagrama de estados, diagrama de árbol y diagrama Trellis.</p> <p>Determinación de la respuesta del impulso de un código convolucional.</p> <p>Descripción de decodificación de un código convolucional empleando algoritmo de máximo verosimilitud y asumiendo símbolos equiprobables.</p> <p>Descripción e implementación de algoritmo de Viterbi para decodificación de código convolucional.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Describir las características y aplicaciones de códigos por bloque como CRC, Golay, BCH, y Reed-Solomon, entendiendo sus propiedades específicas y casos de uso en sistemas de comunicación.</p> <p>Identificar y explicar las principales diferencias entre los códigos por bloque y los códigos convolucionales, destacando sus aplicaciones y características clave.</p> <p>Construir y analizar distintas representaciones de un código convolucional, como diagramas de conexiones, diagramas de estados, diagramas de árbol y diagramas Trellis, utilizando ejemplos para ilustrar su estructura y funcionamiento.</p> <p>Calcular y analizar la respuesta al impulso de un código convolucional.</p> <p>Explicar el proceso de decodificación de un código convolucional utilizando el algoritmo de máximo verosimilitud, asumiendo que los símbolos de entrada son equiprobables, y describir su importancia en la corrección de errores.</p>

	<p>Describir e implementar el algoritmo de Viterbi para la decodificación eficiente de códigos convolucionales, entendiendo sus pasos clave y la importancia de este método en la optimización de la decodificación.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p><b>Antes de la sesión</b>                  Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: diagramas de estados en sistemas digitales, empleo de registro de desplazamiento en sistemas digitales</p> <p><b>Durante la sesión</b>                  Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra                  Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p><b>Después de la sesión</b>                  Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.                  Resolver ejercicios y problemas asociados.                  Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: “código convolucional” y “algoritmo de Viterbi”                  Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.                  Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

Día 5 <span style="float: right;">Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase</span>	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 60 a la 69.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 3”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P29 a resolver en clase:</p> <p><b>P29.</b> (Parcial 1 2019/20) Represente el grafo de Tanner para el código LDPC definido por la matriz generadora:</p> $G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
Contenidos cubiertos	<p>Conceptos avanzados de CC</p> <p>Introducción a las principales características de canales móviles e inalámbricos, y a los conceptos de desvanecimiento y multirayecto. Introducción a técnicas disponibles para mitigar estos efectos, como son el uso de interleavers.</p> <p>Descripción del concepto de <i>puncturing</i> y aplicación como técnica para aumentar la tasa de codificación.</p> <p>Descripción y principales características de Turbo-códigos. Esquemático de algoritmos de codificación y decodificación. Descripción de prestaciones de turbo-códigos.</p> <p>Descripción de códigos LDPC. Método para construir grafo de Tanner partiendo de matriz <math>H</math> de un código lineal.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Identificar y explicar brevemente las principales características de los canales móviles e inalámbricos, incluyendo fenómenos como el desvanecimiento y el multirayecto.</p> <p>Describir la técnica de interleaving.</p> <p>Explicar el concepto de puncturing y describir cómo se utiliza esta técnica para aumentar la tasa de codificación en sistemas de corrección de errores.</p>

	<p>Explicar la técnica de puncturing en la codificación, entendiendo su impacto en la tasa de error y el rendimiento del sistema.</p> <p>Definir y explicar las características principales de los turbo-códigos, destacando su capacidad para mejorar el rendimiento en la corrección de errores.</p> <p>Describir las características esenciales de los códigos LDPC, incluyendo su estructura y ventajas para la corrección de errores en sistemas de comunicación.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p><b>Antes de la sesión</b>                  Repasar conceptos previos empleados en esta sesión: canal AWGN, conceptos de grafo y grafo bipartito</p> <p><b>Durante la sesión</b>                  Tomar apuntes propios de explicaciones realizadas y pizarra                  Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p><b>Después de la sesión</b>                  Repasar y estudiar contenidos teóricos cubiertos en esta sesión.                  Resolver ejercicios y problemas asociados.                  Visualizar vídeos de apoyo publicados en el Aula Virtual, en concreto los etiquetados como: "soft-decision"                  Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.                  Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

<b>Días 6 y 7 Clase de resolución de ejercicios – duración de 100 minutos efectivos de clase</b>	
<p>Materiales utilizados durante las sesiones</p>	<p>Hoja de ejercicios del Tema 3 disponible en el Aula Virtual. En concreto:</p> <p>Enunciado del ejercicio P7 a resolver en clase:</p> <p><b>P7.</b> Suponga un código convolucional (3,1,3) descrito por:</p> $g_1 = [1 \ 1 \ 0] \quad g_2 = [1 \ 0 \ 1] \quad g_3 = [1 \ 1 \ 1]$ <p>Se pide:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Dibujar el codificador y el diagrama de Trellis correspondiente a este código.</li> <li>Obtener la codificación de la secuencia de bits 0 1 0 1 1.</li> <li>Obtener la decodificación la secuencia de bits 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1.</li> <li>Suponga que se dispone de un canal de ancho de banda de 9000Hz. ¿Qué tasa de información (en bits por segundo) se puede alcanzar utilizando el código convolucional (3, 1, 3) y un esquema de codificación Banda Base NRZ polar de 4 niveles?</li> </ol> <p>Enunciado del ejercicio P17 a resolver en clase:</p> <p><b>P17.</b> (Primer Parcial 2014/15) — Considere un código sistemático que lleva los bits de información en la parte final de la palabra código, con <math>r = 4</math>, cuyos bits de redundancia se definen mediante las siguientes ecuaciones:</p> $p_1 = m_1 + m_2 + m_4 \quad p_2 = m_1 + m_2 + m_3$ $p_3 = m_1 + m_3 + m_4 \quad p_4 = m_2 + m_3 + m_4$ <p>Se pide:</p>

- a) Encontrar la matriz generadora ( $G$ ) y la matriz de chequeo de paridad ( $H$ ) para este código.
- b) Si, en un sistema de comunicaciones que utilizara este código, se transmite la secuencia de bits de información  $[1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1]$  y, al atravesar el canal y tras la recepción de los bits transmitidos, se produjera el vector de error  $[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1]$ , calcular:
- La secuencia de bits transmitida.
  - La secuencia de bits de información recibida.
- Comente/justifique los resultados obtenidos.
- c) Si se utilizara un interleaver, ¿cuál es el beneficio de aumentar el número de filas de dicho interleaver? ¿Y de aumentar el número de columnas?

Enunciado del ejercicio P20 a resolver en clase:

**P20.** (Primer Parcial 2015/16) — Considere una fuente de información que puede modelarse como un proceso de banda limitada con ancho de banda de 4KHz. Se desea transmitir dicha información a través de un canal de comunicaciones paso banda de 60KHz de ancho de banda. Para diseñar el sistema de comunicaciones se puede optar por los siguientes bloques:

- Muestreador: + Muest. 1: muestrea al doble de la frecuencia de Nyquist.  
+ Muest. 2: muestrea al triple de la frecuencia de Nyquist.
- Codificador de Fuente: + Cod. Fuente 1: con longitud media 4 bits/muestra.  
+ Cod. Fuente 2: con longitud media 5 bits/muestra.
- Codificador de Canal: + Cod. Canal 1: Código Hamming (15,11).  
+ Cod. Canal 2: Código Hamming (31,26).
- Modulador: + Mod. 1: modulación RZ paso banda, polar, de 8 niveles.  
+ Mod. 2: modulación RZ paso banda, polar, de 32 niveles.  
+ Mod. 3: modulación coseno alzado paso banda, coeficiente de roll-off 0.4, polar, de 16 niveles.

A partir de los bloques anteriores, se diseñan los siguientes sistemas:

- Sistema 1: Muest. 1 + Cod. Fuente 2 + Cod. Canal 1 + Mod. 3
- Sistema 2: Muest. 2 + Cod. Fuente 1 + Cod. Canal 2 + Mod. 1

Se pide,

- a) Justificar cuál de los dos sistemas le parece más adecuado.
- b) Suponiendo ahora que:
- + Para el muestreador sólo se dispone de la opción Muest. 1.
  - + Para el modulador sólo se dispone de las opciones Mod. 1 y Mod. 2.
  - + No existe ninguna restricción en el ancho de banda del canal.
- diseñar el sistema completo si el objetivo es:
- i) Maximizar la velocidad de transmisión de la información.
  - ii) Minimizar la BER (Bit Error Rate) del sistema.

	<p>Enunciado del ejercicio P36 a resolver en clase:</p> <p><b>P36.</b> (Parcial 1 2021/22) Considere un sistema de comunicaciones digitales que emplea un código de canal bloque (7,4) definido por <math>g(D) + D^3 + D^2 + 1</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Construya una tabla de síndromes del código.</li> <li>Determine qué secuencia de bits de información se entregará al decodificador de fuente, teniendo en cuenta que se ha codificado la secuencia 0 1 1 0 1 1 0 1 y que la transmisión por el canal se ha visto alterada por el vector de error 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0</li> <li>¿Son iguales los bits de información transmitidos a los recibidos? ¿Por qué? Proponga una modificación del sistema de comunicaciones que permita mitigar este tipo de situaciones.</li> </ol> <p>A continuación, considere que por este sistema de comunicaciones digitales se va a transmitir una fuente de información. Dicha fuente puede modelarse como un proceso de banda limitada con ancho de banda de <math>5\text{KHz}</math> y se muestrea al doble de la frecuencia mínima necesaria. Los símbolos muestreados se codifican con un codificador de fuente de longitud variable con longitud promedio de palabra <math>\bar{L}</math> y después con el codificador de canal descrito anteriormente. Finalmente, la secuencia binaria se transmite por un canal con ancho de banda de <math>49\text{KHz}</math> empleando un modulador RZ de 32 niveles en banda base.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Calcule el valor máximo de <math>\bar{L}</math> de forma que la comunicación se pueda realizar de forma fiable. Justifique su respuesta. Se valorará positivamente la representación del diagrama de cajas del sistema de comunicaciones identificando en cada punto los parámetros implicados.</li> </ol> <p>Enunciado del ejercicio P39 a resolver en clase:</p> <p><b>P39.</b> (Junio 2022/23) Considere un sistema de comunicaciones digitales que emplea un código de canal bloque (6,3) definido por</p> $H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ <ol style="list-style-type: none"> <li>Defina el concepto de distancia de Hamming mínima (<math>d_{min}</math>) de un código bloque. Indique y justifique la relación entre <math>d_{min}</math> para un código bloque lineal y el concepto de peso de Hamming de un vector binario (<math>W(x)</math>)</li> <li>Calcule la distancia de Hamming mínima (<math>d_{min}</math>) del código definido por <math>H</math>.</li> <li>Determine el número máximo de errores detectables y de errores que se pueden corregir para el código definido por <math>H</math>.</li> <li>Determine si la palabra recibida <math>y = [0 1 1 0 1 0]</math> es identificada como correcta por el decodificador asociado al código definido por <math>H</math>.</li> <li>Determine si el código definido por <math>H</math> es un código de canal Hamming.</li> </ol>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Todos los contenidos vistos en las sesiones de teoría de este tema.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Aplicar los conceptos teóricos previamente estudiados en la resolución de problemas prácticos, mejorando la comprensión de los fundamentos.                  Desarrollar estrategias efectivas para abordar distintos tipos de ejercicios, identificando las herramientas y fórmulas más adecuadas para cada situación.                  Resolver ejercicios paso a paso, prestando atención al razonamiento lógico y a la justificación de cada procedimiento utilizado.</p>

	<p>Identificar y corregir errores comunes en la resolución de problemas, utilizando ejemplos de ejercicios resueltos y análisis de soluciones incorrectas.</p> <p>Colaborar en la discusión y resolución de ejercicios en grupo, fomentando el aprendizaje cooperativo y el intercambio de ideas.</p> <p>Reforzar las habilidades de interpretación y análisis de enunciados de problemas para desglosar los elementos clave necesarios para su resolución.</p> <p>Evaluar y mejorar la velocidad y precisión en la resolución de ejercicios, haciendo énfasis en la optimización del tiempo.</p> <p>Autoevaluar el progreso personal mediante la resolución de ejercicios adicionales y la revisión crítica de los resultados obtenidos.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p><b>Antes de la sesión</b></p> <p>Reparar los contenidos vistos en las clases de teoría.</p> <p>Intentar resolver los ejercicios previstos para esta sesión de resolución de ejercicios.</p> <p><b>Durante la sesión</b></p> <p>Tomar apuntes de explicaciones realizadas y pizarra.</p> <p>Participar activamente en la sesión, saliendo a la pizarra para compartir resolución propia de los ejercicios con el resto de la clase o aportando ideas/comentarios sobre siguientes pasos en la resolución de cada ejercicio al/la compañero/a que está en la pizarra.</p> <p>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p><b>Después de la sesión</b></p> <p>Resolver y entregar ejercicio seleccionado para la evaluación.</p> <p>Resolver ejercicios y problemas asociados.</p> <p>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>

Día 8 Clase de prácticas – duración de 100 minutos efectivos de clase	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Enunciado de la práctica disponible en el Aula Virtual.</p> <p>Archivos de ayuda para la práctica disponibles en el Aula Virtual. En concreto: <code>partel_estudiantes.m</code> y <code>parte2_estudiantes.m</code></p> <p>Herramientas de ayuda de Matlab®, accesibles a través de las instrucciones <code>help</code> y <code>doc</code>.</p>
Contenidos cubiertos	<p>CC por Bloques Lineal</p> <p>Implementación de códigos Hamming, generación de matrices <b>G</b> y <b>H</b>, codificación y decodificación de bloques de información, construcción de tablas de síndromes, detección y corrección de errores en la recepción.</p> <p>Simulación de un Sistema Paso Banda con CC y utilizando el Equivalente Paso Bajo Discreto</p> <p>Simulación de un sistema de comunicación completo empleando dos alternativas de modulación: (a) BPSK y (b) QPSK, así como tres alternativas en cuanto a la CC: (a) sin aplicar CC, (b) aplicando un código de repetición (3,1) y (c) aplicando un código Hamming (7,4).</p> <p>Cálculo de BER para cada escenario, representación de BER frente a SNR y cálculo de la ganancia de codificación.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Aprender a desarrollar códigos Hamming mediante Matlab® y a realizar una codificación y decodificación de canal con dichos códigos y con otros tipos distintos.</p>

	<p>Visualizar (y comprender) la Ganancia de Codificación obtenida mediante la utilización de la codificación de canal.</p> <p>Mejorar las habilidades de programación en Matlab®, siendo capaz de generar código/s optimizado/s, fácilmente generalizable/s y siempre que sea posible empleando cálculo matricial.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p><b>Antes de la sesión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Repasar los contenidos vistos en las clases de teoría.</li> <li>Recordar conocimientos de Matlab®, revisar pestaña “Material ayuda Matlab” del Aula Virtual y como mínimo realizar las actividades del curso de Matlab Onramp.</li> <li>Leer enunciado de la práctica, repasar los scripts puestos a disposición del estudiantado y empezar a resolver la práctica.</li> </ul> <p><b>Durante la sesión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Resolver los ejercicios e hitos propuestos en el enunciado.</li> <li>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</li> </ul> <p><b>Después de la sesión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Finalizar los ejercicios e hitos propuestos en el enunciado, en caso de no haberlos podido finalizar durante la sesión.</li> <li>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</li> <li>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</li> </ul>

## Bloque II: Conceptos avanzados

### Tema 4 – Técnicas avanzadas de comunicaciones

#### CALENDARIO

L – 11 NOV-24	M – 12 NOV-24	X – 13 NOV-24	J – 14 NOV-24	V – 15 NOV-24	S	D
Tema 3 Día 5 Ejercicios G1 - 11:00 – 13:00 G2 - ¿?		Tema 4 Día 1 Teoría 9:00 – 11:00				
L – 18 NOV-24	M – 19 NOV-24	X – 20 NOV-24	J – 21 NOV-24	V – 22 NOV-24	S	D
Tema 4 Día 2 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 4 Día 3 Teoría 9:00 – 11:00				
L – 25 NOV-24	M – 26 NOV-24	X – 27 NOV-24	J – 28 NOV-24	V – 29 NOV-24	S	D
Tema 4 Día 4 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 4 Día 5 Ejercicios G1 - 9:00 – 11:00 G2 - ¿?				
L – 2 DIC-24	M – 3 DIC-24	X – 4 DIC-24	J – 5 DIC-24	V – 6 DIC-24	S	D
Tema 4 Día 6 Ejercicios G1 - 11:00 – 13:00 G2 - ¿?		Tema 5 Día 1 Teoría 9:00 – 11:00	FESTIVO  CELEBRACIÓN DEL PATRÓN DE LA EIF	FESTIVO		
L – 9 DIC-24	M – 10 DIC-24	X – 11 DIC-24	J – 12 DIC-24	V – 13 DIC-24	S	D
Tema 5 Día 2 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 5 Día 3 Ejercicios G1 - 9:00 – 11:00 G2 - ¿?				
L – 16 DIC-24	M – 17 DIC-24	X – 18 DIC-24	J – 19 DIC-24	V – 20 DIC-24	S	D
Tema 4 Día 7 Prácticas 11:00 – 13:00						

#### PLAN DOCENTE

Día 1	Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 1 a la 11.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 4”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p>
Contenidos cubiertos	<p>Bloques fundamentales de un sistema digital de comunicaciones.</p> <p>Recordatorio del diagrama de bloques de un sistema digital de comunicaciones.</p>

	<p>Identificación y repaso de los bloques esenciales y no esenciales.</p> <p>Modelo equivalente paso bajo Recordatorio del modelo paso bajo. Explicación de los efectos del canal. Uso de un modelo discreto equivalente paso bajo para un canal no ideal, considerando sus efectos.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Explicar el diagrama de bloques de un sistema digital de comunicaciones, describiendo la función de cada bloque y sus entradas y salidas.</p> <p>Identificar y diferenciar los bloques esenciales y no esenciales en un sistema digital de comunicaciones.</p> <p>Describir el modelo equivalente paso bajo y explicar su importancia en el análisis de sistemas de comunicaciones.</p> <p>Analizar los efectos del canal en un sistema de comunicaciones y utilizar un modelo discreto equivalente paso bajo para representar un canal no ideal.</p> <p>Aplicar conceptos de modelos de canal y capacidad de canal en el contexto de sistemas digitales de comunicaciones.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p>Antes de la sesión Leer material de referencia sobre el diagrama de bloques de sistemas digitales de comunicaciones.</p> <p>Durante la sesión Tomar apuntes detallados de las explicaciones y discusiones en clase. Participar activamente en la sesión, formulando preguntas y contribuyendo con comentarios útiles para enriquecer el aprendizaje colectivo.</p> <p>Después de la sesión Revisar y estudiar los contenidos teóricos cubiertos durante la sesión. Resolver ejercicios y problemas asociados para consolidar el aprendizaje. Visualizar vídeos y material de apoyo disponibles en el Aula Virtual. Asistir a tutorías o enviar correos electrónicos al docente para aclarar dudas. Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para resolver dudas.</p>

Día 2	
<b>Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase</b>	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 11 a la 21.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 4”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P8 a resolver en clase:</p> <p><b>P8.</b> Considere un ecualizador transversal de 3 etapas cuyos pesos (<math>c_{-1}</math>, <math>c_0</math>, <math>c_1</math>) se quieren determinar mediante la transmisión de un pulso como señal de entrenamiento. La señal recibida es <math>x(k) = 0.0, 0.2, 0.9, -0.3, 0.1</math> (con <math>k = -2</math> a <math>2</math>).</p> <p>a) Diseñe un ecualizador <i>Zero-Forcing</i> para que la señal ecualizada sea <math>z(k) = 0, 1, 0</math> (con <math>k = -1</math> a <math>1</math>).</p>

	<p>b) Calcule los valores de ISI de la señal ecualizada en los instantes <math>k = -3, -2, 2, 3</math>. ¿Cuál es la mayor contribución de ISI?</p> <p>c) Calcule la ISI total desde <math>k = -3</math> a 3.</p>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Necesidad de ecualización para un canal no ideal                  Descripción de las características de un canal no ideal y cómo afectan a la transmisión de señales.                  Introducción al concepto de ecualización como solución para mitigar los efectos de distorsión y atenuación en el canal.</p> <p>Técnicas de ecualización                  Clasificación de las diferentes técnicas de ecualización y su aplicación en sistemas de comunicación.                  Comparación entre ecualización preprogramada y adaptativa.</p> <p>Ecualizadores transversales                  Definición y funcionamiento de los ecualizadores transversales.                  Análisis de la estructura y diseño de un ecualizador transversal.</p> <p>Zero Forcing (ZF)                  Explicación del algoritmo Zero Forcing y su aplicación en la ecualización.                  Ventajas y desventajas del uso de Zero Forcing en diferentes escenarios de comunicación.</p> <p>Minimum Mean Square Error (MMSE)                  Descripción del algoritmo MMSE y su enfoque en minimizar el error cuadrático medio.                  Comparación entre MMSE y Zero Forcing en términos de rendimiento y complejidad.</p> <p>Ecualizadores realimentados                  Introducción a los ecualizadores realimentados y su funcionamiento.                  Ejemplos de implementación y casos de uso en sistemas de comunicación.</p> <p>Ecualización preprogramada vs. adaptativa                  Diferencias clave entre ecualización preprogramada y adaptativa.                  Ventajas de la ecualización adaptativa en entornos de comunicación variables.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Comprender la necesidad de ecualización en canales no ideales y describir cómo las técnicas de ecualización mejoran la calidad de la señal.</p> <p>Clasificar y explicar las diferentes técnicas de ecualización, incluyendo ecualizadores transversales, Zero Forcing, y MMSE.</p> <p>Analizar las ventajas y limitaciones de los ecualizadores transversales y realimentados.</p> <p>Comparar la ecualización preprogramada con la adaptativa, destacando sus aplicaciones y beneficios en diferentes contextos de comunicación.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p>Antes de la sesión                  Repasar conceptos previos relacionados con la transmisión de señales y los efectos de los canales no ideales.</p> <p>Durante la sesión                  Tomar apuntes de las explicaciones y ejemplos presentados.                  Participar activamente en la discusión, planteando preguntas y compartiendo observaciones.</p> <p>Después de la sesión                  Revisar y estudiar los contenidos teóricos cubiertos.</p>

	<p>Resolver ejercicios prácticos sobre ecualización y analizar diferentes escenarios de aplicación.</p> <p>Visualizar vídeos y material de apoyo en el Aula Virtual.</p> <p>Asistir a tutorías o enviar correos electrónicos al docente para aclarar dudas.</p> <p>Participar en el Foro General del Aula Virtual para discutir y resolver dudas con compañeros y docentes.</p>
--	---

**Día 3 Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase**

Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 22 a la 32.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 4”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P3 a resolver en clase:</p> <p><b>P3.</b> El estándar IEEE 802.11a utiliza OFDM. La frecuencia utilizada está en la banda ISM de 5GHz. Esta tecnología utiliza canales de 20 MHz, que pueden ser asignados cada uno a un usuario. Se realiza una codificación de canal con un código convolucional cuya tasa depende de la calidad del enlace. Las posibles tasas son <math>r = 1/2, 2/3, \text{ o } 3/4</math>. La modulación también puede variar entre los tipos BPSK, QPSK, 16- QAM y 64-QAM.</p> <p>a) Calcule el ancho de banda de cada subportadora sabiendo que se usan un total de 64.</p> <p>b) Midiendo la dispersión temporal en el interior de un edificio, se obtiene un valor máximo de <math>0.8 \mu s</math>. ¿Cuántos símbolos de prefijo cíclico añadiría a los 64 símbolos del símbolo OFDM? ¿Cuál es la nueva duración del símbolo OFDM?</p> <p>c) Se usan 16 portadoras para reducir las interferencias con el canal adyacente (8 por cada lado). ¿Cuáles son la mínima y la máxima tasa neta de bits de entre todas las posibles?</p> <p>d) ¿Cuál es la tasa de bits con modulación 16-QAM y <math>r = 2/3</math>?</p>
---	---

Contenidos cubiertos	<p>Interferencia intersimbólica (ISI)</p> <p>Definición de ISI y su impacto en la calidad de la comunicación.</p> <p>Diferenciación entre ISI en condiciones de flat fading y selectividad en frecuencia.</p> <p>Reducción de ISI mediante sistemas multiportadora</p> <p>Introducción a los sistemas multiportadora como solución para mitigar ISI.</p> <p>Ventajas de los sistemas multiportadora en comparación con otras técnicas de reducción de ISI.</p> <p>Idea básica del sistema multiportadora.</p> <p>Explicación del concepto de transmisión multiportadora y su funcionamiento básico.</p> <p>Beneficios de dividir el canal en múltiples subcanales para mejorar la eficiencia y reducir la interferencia.</p> <p>Transmisor y receptor de sistema multiportadora analógica</p> <p>Descripción de la arquitectura de un sistema multiportadora analógica.</p> <p>Funcionamiento del transmisor y receptor en un entorno analógico.</p> <p>Sistema multiportadora digital: OFDM</p> <p>Introducción al sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM).</p>
----------------------	---

	<p>Uso de la Transformada Inversa de Fourier Discreta (IDFT) y la Transformada de Fourier Discreta (DFT) en OFDM.                      Importancia del prefijo cíclico (PC) en la reducción de ISI.</p> <p>OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)                      Explicación del acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA).                      Ventajas de OFDMA en la asignación de recursos y la eficiencia espectral en redes de comunicación.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Comprender el concepto de ISI y su impacto en sistemas de comunicación, diferenciando entre flat fading y selectividad en frecuencia.</p> <p>Describir cómo los sistemas multiportadora reducen la ISI y mejoran la calidad de la señal.</p> <p>Explicar la estructura y funcionamiento básico de un sistema multiportadora, tanto en entornos analógicos como digitales.</p> <p>Analizar el sistema OFDM, incluyendo el uso de IDFT/DFT y la importancia del prefijo cíclico para mitigar la ISI.</p> <p>Comprender el funcionamiento de OFDMA y su aplicación en la asignación eficiente de recursos en redes de comunicación.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p>Antes de la sesión                      Repasar conceptos previos sobre transmisión de señales y efectos de la ISI en canales de comunicación.</p> <p>Durante la sesión                      Tomar apuntes de las explicaciones y ejemplos presentados.                      Participar activamente en la discusión, planteando preguntas y compartiendo observaciones.</p> <p>Después de la sesión                      Revisar y estudiar los contenidos teóricos cubiertos.                      Resolver ejercicios prácticos sobre sistemas multiportadora y analizar diferentes escenarios de aplicación.                      Visualizar vídeos de apoyo y material de apoyo en el Aula Virtual.                      Asistir a tutorías o enviar correos electrónicos al docente para aclarar dudas.                      Participar en el Foro General del Aula Virtual para discutir y resolver dudas con compañeros y docentes.</p>

Día 4 Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase	
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 33 a la 43.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 4”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P5 a resolver en clase:</p> <p><b>P5.</b> Una secuencia MLS se genera utilizando cuatro registros de desplazamiento a una tasa de <math>10^7</math> chips/s:</p> <p>a) Determine la duración y el periodo de la secuencia.</p> <p>Esta secuencia se utiliza para ensanchar una señal cuyo tiempo de bit es <math>10 \mu\text{s}</math>.</p>

	<p>b) Determine la ganancia de ensanchado.</p>
Contenidos cubiertos	<p><b>Espectro ensanchado</b>                  Definición de espectro ensanchado y su importancia:                  Explicación del concepto de espectro ensanchado y su relevancia en la comunicación moderna.                  Beneficios del espectro ensanchado en términos de seguridad y resistencia a interferencias.</p> <p><b>CDMA (Code Division Multiple Access)</b>                  Introducción a CDMA.                  Descripción de CDMA como técnica de acceso múltiple.                  Comparación de CDMA con otras técnicas de acceso múltiple, como FDMA y TDMA.</p> <p><b>Técnicas de CDMA</b>                  Explicación del funcionamiento de DS-CDMA y su aplicación en sistemas de comunicación.                  Ventajas de DS-CDMA en términos de resistencia a interferencias y capacidad de usuario.                  Descripción de FH-CDMA y su mecanismo de cambio de frecuencia.                  Beneficios de FH-CDMA en la mitigación de interferencias y seguridad.</p> <p><b>Sistemas SS multiusuario</b>                  Descripción de sistemas de espectro ensanchado multiusuario.                  Funcionamiento de sistemas multiusuario utilizando técnicas de espectro ensanchado.                  Desafíos y soluciones en la implementación de sistemas SS multiusuario.</p> <p><b>Códigos pseudoaleatorios</b>                  Uso de códigos pseudoaleatorios en CDMA.                  Importancia de los códigos pseudoaleatorios para la separación de usuarios en CDMA.                  Generación y características de los códigos pseudoaleatorios.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Comprender el concepto de espectro ensanchado y su aplicación en la mejora de la comunicación.</p> <p>Describir el funcionamiento de CDMA y sus ventajas sobre otras técnicas de acceso múltiple.</p> <p>Explicar las técnicas DS-CDMA y FH-CDMA, y sus beneficios en sistemas de comunicación.</p> <p>Analizar los sistemas de espectro ensanchado multiusuario y los desafíos asociados.</p> <p>Entender el uso de códigos pseudoaleatorios en CDMA.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p><b>Antes de la Sesión</b>                  Repasar conceptos básicos de acceso múltiple y espectro ensanchado.</p> <p><b>Durante la Sesión</b>                  Tomar apuntes de las explicaciones y ejemplos presentados.                  Participar activamente en la discusión, planteando preguntas y compartiendo observaciones.</p> <p><b>Después de la Sesión</b>                  Revisar y estudiar los contenidos teóricos cubiertos.                  Resolver ejercicios prácticos sobre CDMA y espectro ensanchado.                  Visualizar vídeos de apoyo y material de apoyo en el Aula Virtual.                  Asistir a tutorías o enviar correos electrónicos al docente para aclarar dudas.                  Participar en el Foro General del Aula Virtual para discutir y resolver dudas con compañeros y docentes.</p>

## Días 5 y 6

## Clase de resolución de ejercicios – duración de 100 minutos efectivos de clase

Materiales utilizados durante las sesiones

Hoja de ejercicios del Tema 4 disponible en el Aula Virtual. En concreto:

Enunciado del ejercicio P1 a resolver en clase:

**P1.** La respuesta al impulso ideal en un sistema de comunicaciones es  $h(t) = \delta(t)$ , donde  $\delta(t)$  es la función impulso. Sin embargo, tenemos un canal que introduce ISI, cuya respuesta al impulso es  $h(t) = \delta(t) + \alpha\delta(t - T)$ , donde  $\alpha < 1$  y  $T$  es el periodo de símbolo.

a) Obtenga la expresión de la respuesta al impulso de un filtro Zero Forcing que equalice los efectos de la ISI en los instantes  $k = 0, T, 2T, 3T$ .

b) Demuestre que dicho filtro suprime ISI.

c) Si la ISI suprimida no se considera suficiente, ¿cómo se puede modificar el diseño del filtro para incrementar la eliminación de ISI?

Enunciado del ejercicio P2 a resolver en clase:

**P2.** Como resultado de la transmisión de un impulso se recibe una secuencia de muestras (respuesta al impulso), con valores 0.02, -0.03, 0.1, 1.0, 0.4, -0.1, 0.05, donde el valor 1 corresponde al lóbulo principal de la respuesta al impulso. Diseñe un ecualizador transversal de 7 etapas.

a) Obtenga los pesos del ecualizador de acuerdo con el criterio MMSE.

b) Calcule los valores de las salidas ecualizadas en  $k = \pm 0, T, 2T, 3T, \dots, 6T$ .

c) Después de la ecualización, ¿cuál es la muestra con mayor magnitud contribuyendo a la ISI? ¿cuál es la suma de todas las contribuciones de ISI?

Enunciado del ejercicio P11 a resolver en clase:

**P11.** Considere un sistema OFDM implementado con bloques IFFT/FFT. Dicho sistema utiliza canales de 1MHz de ancho de banda, que pueden ser asignados cada uno a un usuario. Se sabe que, en uno de estos canales, utilizando un prefijo cíclico de longitud 16, el tiempo total para la transmisión de un símbolo OFDM es  $160 \mu\text{s}$ .

a) ¿Cuál es el ancho de banda de cada una de las subportadoras?

Del número total de subportadoras del canal,  $5/6$  son activas y  $1/6$  se utilizan como subportadoras de guarda en los extremos del canal ( $1/12$  en cada uno de los extremos).

b) Del tiempo total para la transmisión de un símbolo OFDM, ¿cuál es el tiempo dedicado a la transmisión de datos? ¿Cuál es el tiempo dedicado a evitar ISI? ¿Cuál es el tiempo dedicado a evitar interferencias con los canales adyacentes?

Se realiza una codificación de canal, en las subportadoras activas, con un código convolucional cuya tasa depende de la calidad del enlace. Las posibles tasas son  $r = 2/3$  y  $3/4$ . La modulación puede variar entre BPSK, QPSK y 16-QAM.

c) ¿Cuáles son la mínima y la máxima tasa de transmisión del sistema?

d) ¿Cuál sería la máxima tasa de transmisión si no utilizásemos subportadoras de guarda?

Enunciado del ejercicio P12 a resolver en clase:

	<p><b>P12.</b> Un sistema de comunicaciones utiliza una modulación de espectro ensanchado por secuencia directa. El código de ensanchado <math>cc[n]</math> es periódico con factor de ensanchado</p> <p><math>N = 4: c[0] = 1, c[1] = -1, c[2] = 1, c[3] = -1</math></p> <p>a) Dada la secuencia de datos <math>s[k]: s[0] = 1, s[1] = -1, s[2] = -1</math>, represente la señal modulada ensanchada <math>s_e[m]</math> para <math>0 \leq n \leq 11</math>.</p> <p>b) ¿Cuál es la ganancia de ensanchado (en dB)? Si la señal ensanchada tiene un ancho de banda de 220 Hz, ¿cuál es el ancho de banda de la señal original?</p> <p>c) La señal ensanchada que transmitimos se ve afectada por una interferencia. ¿Obtenemos alguna ventaja al transmitir la señal ensanchada respecto a transmitir la señal sin ensanchar? Justifique su respuesta.</p> <p>Enunciado del ejercicio P18 a resolver en clase:</p> <p><b>P18.</b> Considere un sistema de espectro ensanchado en el que un usuario transmite utilizando un código pseudoaleatorio de tipo MLS generado utilizando 5 registros de desplazamiento. El sistema tiene un tiempo de bit de <math>5 \mu s</math> y una tasa de 20 MChips/s. Se pide:</p> <p>a) Determinar el periodo, en segundos, del código (es decir, cada cuánto se repite la secuencia del código).</p> <p>b) Si se produce un multitrayecto en recepción (con un trayecto principal y un trayecto retardado; ambos recibidos con la misma potencia), calcular la amplitud de la interferencia producida por el multitrayecto si el retardo es:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 0.6 veces el tiempo de chip.</li> <li>2) el doble del tiempo de chip.</li> <li>3) 31 veces el tiempo de chip.</li> </ol> <p>c) Si en el canal se encuentra presente una señal interferente de banda estrecha que produce una SIR de 23 dB, ¿cuál sería la SIR que se tendría en caso de no utilizar espectro ensanchado?</p>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Todos los contenidos vistos en las sesiones de teoría de este tema.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Aplicar los conceptos teóricos previamente estudiados en la resolución de problemas prácticos, mejorando la comprensión de los fundamentos.</p> <p>Desarrollar estrategias efectivas para abordar distintos tipos de ejercicios, identificando las herramientas y fórmulas más adecuadas para cada situación.</p> <p>Resolver ejercicios paso a paso, prestando atención al razonamiento lógico y a la justificación de cada procedimiento utilizado.</p> <p>Identificar y corregir errores comunes en la resolución de problemas, utilizando ejemplos de ejercicios resueltos y análisis de soluciones incorrectas.</p> <p>Colaborar en la discusión y resolución de ejercicios en grupo, fomentando el aprendizaje cooperativo y el intercambio de ideas.</p> <p>Reforzar las habilidades de interpretación y análisis de enunciados de problemas para desglosar los elementos clave necesarios para su resolución.</p> <p>Evaluar y mejorar la velocidad y precisión en la resolución de ejercicios, haciendo énfasis en la optimización del tiempo.</p> <p>Autoevaluar el progreso personal mediante la resolución de ejercicios adicionales y la revisión crítica de los resultados obtenidos.</p>

<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p><b>Antes de la sesión</b>                  Repasar los contenidos vistos en las clases de teoría.                  Intentar resolver los ejercicios previstos para esta sesión de resolución de ejercicios.</p> <p><b>Durante la sesión</b>                  Tomar apuntes de explicaciones realizadas y pizarra.                  Participar activamente en la sesión, saliendo a la pizarra para compartir resolución propia de los ejercicios con el resto de la clase o aportando ideas/comentarios sobre siguientes pasos en la resolución de cada ejercicio al/la compañero/a que está en la pizarra.                  Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p><b>Después de la sesión</b>                  Resolver y entregar ejercicio seleccionado para la evaluación.                  Resolver ejercicios y problemas asociados.                  Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.                  Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>
--	--

<b>Día 7 Clase de prácticas – duración de 100 minutos efectivos de clase</b>	
<p>Materiales utilizados durante la sesión</p>	<p>Enunciado de la práctica disponible en el Aula Virtual.</p> <p>Archivos de ayuda para la práctica disponibles en el Aula Virtual. En concreto:  <code>parte1_estudiantes.m</code> <code>parte2_estudiantes.m</code></p> <p>Herramientas de ayuda de Matlab®, accesibles a través de las instrucciones <code>help</code> y <code>doc</code>.</p>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p><b>OFDM</b>                  Comprender y visualizar los bloques de un sistema OFDM.                  Cálculo de BER para distintos valores de SNR y representación la curva de BER vs. SNR.                  Entender cómo influye la modulación 16PSK y 8PSK con distintos valores de SNR.</p> <p><b>Espectro ensanchado</b>                  Comprender y visualizar la técnica de espectro ensanchado demostrando su efectividad para suprimir interferencias de tipo sinusoidal.                  Cálculo de BER vs. SNR para distintas amplitudes de la señal interferente, y representación de las gráficas BER vs. SNR.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Aprender a implementar un sistema OFDM completo en Matlab®, comprendiendo y visualizando cada uno de sus bloques funcionales.                  Realizar simulaciones para calcular la BER en función de diferentes valores de SNR utilizando Matlab®.                  Desarrollar un sistema de espectro ensanchado en Matlab® para demostrar su efectividad en la supresión de interferencias sinusoidales.                  Evaluar cómo el espectro ensanchado mejora la resistencia del sistema a las interferencias.                  Mejorar las habilidades de programación en Matlab®, siendo capaz de generar código/s optimizado/s, fácilmente generalizable/s y siempre que sea posible empleando cálculo matricial.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p><b>Antes de la sesión</b>                  Repasar los contenidos vistos en las clases de teoría.                  Recordar conocimientos de Matlab®, revisar pestaña “Material ayuda Matlab” del Aula Virtual y como mínimo realizar las actividades del curso de Matlab Onramp.</p>

	<p>Leer enunciado de la práctica, repasar los scripts puestos a disposición del estudiantado y empezar a resolver la práctica.</p> <p><b>Durante la sesión</b> Resolver los ejercicios e hitos propuestos en el enunciado. Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</p> <p><b>Después de la sesión</b> Finalizar los ejercicios e hitos propuestos en el enunciado, en caso de no haberlos podido finalizar durante la sesión. Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas. Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</p>
--	---

## Bloque III: Aspectos prácticos

### Tema 5 – Ingeniería de Sistemas Digitales

#### CALENDARIO

L – 2 DIC-24	M – 3 DIC-24	X – 4 DIC-24	J – 5 DIC-24	V – 6 DIC-24	S	D
Tema 4 Día 6 Ejercicios G1 - 11:00 – 13:00 G2 - ¿?		Tema 5 Día 1 Teoría 9:00 – 11:00	FESTIVO  CELEBRACIÓN DEL PATRÓN DE LA EIF	FESTIVO		
L – 9 DIC-24	M – 10 DIC-24	X – 11 DIC-24	J – 12 DIC-24	V – 13 DIC-24	S	D
Tema 5 Día 2 Teoría 11:00 – 13:00		Tema 5 Día 3 Ejercicios G1 - 9:00 – 11:00 G2 - ¿?				
L – 16 DIC-24	M – 17 DIC-24	X – 18 DIC-24	J – 19 DIC-24	V – 20 DIC-24	S	D
Tema 4 Día 7 Prácticas 11:00 – 13:00		Repaso general Tema 4 y Tema 5				

#### PLAN DOCENTE

Día 1	Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase
Materiales utilizados durante la sesión	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 1 a la 6.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 5”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p>
Contenidos cubiertos	<p>Aspectos básicos de la sincronización en las comunicaciones.</p> <p>Introducción a la sincronización en frecuencia y fase.</p> <p>Explicación de la importancia de la sincronización en frecuencia y fase en los sistemas de comunicación.</p> <p>Descripción de los problemas que pueden surgir debido a la falta de sincronización.</p> <p>Métodos comunes para lograr la sincronización en frecuencia y fase, incluyendo el uso de osciladores de referencia y técnicas de seguimiento de fase.</p> <p>Introducción a la sincronización de símbolo.</p>
Objetivos de aprendizaje	<p>Comprender la importancia de la sincronización en frecuencia y fase en los sistemas de comunicación.</p> <p>Identificar los problemas que pueden surgir debido a la falta de sincronización y sus efectos en la calidad de la señal.</p> <p>Describir las técnicas utilizadas para lograr la sincronización en frecuencia, fase y símbolo.</p>

<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p>Antes de la sesión Leer material de referencia sobre sincronización en los sistemas de comunicaciones.</p> <p>Durante la sesión Tomar apuntes detallados de las explicaciones y discusiones en clase. Participar activamente en la sesión, formulando preguntas y contribuyendo con comentarios útiles para enriquecer el aprendizaje colectivo.</p> <p>Después de la sesión Revisar y estudiar los contenidos teóricos cubiertos durante la sesión. Resolver ejercicios y problemas asociados para consolidar el aprendizaje. Visualizar vídeos y material de apoyo disponibles en el Aula Virtual. Asistir a tutorías o enviar correos electrónicos al docente para aclarar dudas. Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para resolver dudas.</p>
--	--

<p><b>Día 2 Clase de teoría – duración de 100 minutos efectivos de clase</b></p>	
<p>Materiales utilizados durante la sesión</p>	<p>Transparencias del este tema, en concreto de la 7 a la 19.</p> <p>Material de la bibliografía según lo detallado en el documento de “Apuntes adicionales del Tema 5”</p> <p>Se realizan múltiples representaciones y aclaraciones en la pizarra.</p> <p>Enunciado del ejercicio P1 a resolver en clase:</p> <p><b>P1.</b> Un grupo de 3 estaciones comparten un canal Aloha puro de 56 Kbps. La tasa de bit media transmitida por cada estación es <math>R_1 = 7.5\text{Kbps}</math>, <math>R_2 = 10\text{Kbps}</math> y <math>R_3 = 20\text{Kbps}</math>. El tamaño de cada paquete (o mensaje) es de 100 bits. Obtenga:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>El tráfico total normalizado del canal.</li> <li>El throughput normalizado.</li> <li>La probabilidad de éxito de transmisión.</li> <li>La tasa de paquetes recibidos satisfactoriamente (sin colisión).</li> </ol>
<p>Contenidos cubiertos</p>	<p>Multiplexado y Acceso Múltiple. Repaso de conceptos previos sobre técnicas de duplexado. Introducción a las técnicas de acceso múltiple y a su uso en canales AWGN. Análisis de las técnicas de acceso supervisado: FDMA, TDMA, CDMA, SDMA. Análisis de las técnicas de acceso no supervisado: Aloha, CSMA.</p>
<p>Objetivos de aprendizaje</p>	<p>Comprender las técnicas de duplexado. Identificar y describir las técnicas de acceso múltiple. Analizar las técnicas de acceso supervisado. Analizar las técnicas de acceso no supervisado.</p>
<p>Actividades planificadas para los estudiantes</p>	<p>Antes de la sesión Leer material de referencia sobre técnicas de multiplexado y de acceso múltiple.</p> <p>Durante la sesión Tomar apuntes detallados de las explicaciones y discusiones en clase. Participar activamente en la sesión, formulando preguntas y contribuyendo con comentarios útiles para enriquecer el aprendizaje colectivo.</p>

	<p>Después de la sesión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Revisar y estudiar los contenidos teóricos cubiertos durante la sesión.</li> <li>Resolver ejercicios y problemas asociados para consolidar el aprendizaje.</li> <li>Visualizar vídeos y material de apoyo disponibles en el Aula Virtual.</li> <li>Asistir a tutorías o enviar correos electrónicos al docente para aclarar dudas.</li> <li>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para resolver dudas.</li> </ul>
--	--

Día 3	Clase de resolución de ejercicios – duración de 100 minutos efectivos de clase
<p>Materiales utilizados durante las sesiones</p>	<p>Hoja de ejercicios del Tema 5 disponible en el Aula Virtual. En concreto:</p> <p>Enunciado del ejercicio P2 a resolver en clase:</p> <p><b>P2.</b> Las medidas realizadas en un canal S-Aloha demuestran que el 20% de los slot de tiempo no son utilizados.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) ¿Cuál es el tráfico total normalizado en el canal?</li> <li>b) ¿Cuál es el throughput normalizado?</li> <li>c) ¿Está el canal sobrecargado?</li> </ol> <p>Enunciado del ejercicio P4 a resolver en clase:</p> <p><b>P4.</b> Se dispone de dos canales. En uno de ellos se implementa un protocolo de acceso al medio Aloha puro y en el otro se implementa un protocolo Aloha ranurado. El tráfico total normalizado en ambos canales es 0.9.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) ¿Está sobrecargado el canal Aloha puro? ¿Y el canal Aloha ranurado? Justifique sus respuestas.</li> <li>b) ¿Cuál es el throughput normalizado en cada uno de los canales?</li> <li>c) ¿Cuál es la probabilidad de éxito de transmisión en cada uno de los canales?</li> <li>d) Si la tasa total de mensajes transmitidos en ambos canales es de 200 mensajes/s, ¿cuál es la tasa de mensajes recibidos satisfactoriamente en cada uno de los canales?</li> </ol> <p>Enunciado del ejercicio P7 a resolver en clase:</p> <p><b>P7.</b> En un sistema de comunicaciones, un grupo de 40 usuarios comparten un canal de 56Kbps. Cada usuario genera, en media, un mensaje de 1.500 bits cada 5 segundos. Se determina que el sistema de comunicaciones funciona correctamente si cada usuario consigue transmitir, en media, un mínimo de 200bps.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) En dicho sistema de comunicaciones, ¿implementaría el acceso al canal mediante Aloha puro o mediante Aloha ranurado?</li> <li>b) Con el esquema de acceso de seleccionado en el apartado anterior, ¿cuál es el throughput máximo del sistema?</li> <li>c) Con dicho throughput máximo y suponiendo que puede variar la tasa de generación de paquetes de los usuarios, ¿cuántos usuarios podrían compartir el sistema? ¿Cuál sería la nueva tasa de generación de paquetes de los usuarios?</li> <li>d) En el sistema del apartado anterior, ¿se garantiza que todos los usuarios podrán transmitir en todo momento (no en media) 200bps?</li> </ol> <p>(Justifique todas sus respuestas.)</p>

Contenidos cubiertos	Todos los contenidos vistos en las sesiones de teoría de este tema.
Objetivos de aprendizaje	<p>Aplicar los conceptos teóricos previamente estudiados en la resolución de problemas prácticos, mejorando la comprensión de los fundamentos.</p> <p>Desarrollar estrategias efectivas para abordar distintos tipos de ejercicios, identificando las herramientas y fórmulas más adecuadas para cada situación.</p> <p>Resolver ejercicios paso a paso, prestando atención al razonamiento lógico y a la justificación de cada procedimiento utilizado.</p> <p>Identificar y corregir errores comunes en la resolución de problemas, utilizando ejemplos de ejercicios resueltos y análisis de soluciones incorrectas.</p> <p>Colaborar en la discusión y resolución de ejercicios en grupo, fomentando el aprendizaje cooperativo y el intercambio de ideas.</p> <p>Reforzar las habilidades de interpretación y análisis de enunciados de problemas para desglosar los elementos clave necesarios para su resolución.</p> <p>Evaluar y mejorar la velocidad y precisión en la resolución de ejercicios, haciendo énfasis en la optimización del tiempo.</p> <p>Autoevaluar el progreso personal mediante la resolución de ejercicios adicionales y la revisión crítica de los resultados obtenidos.</p>
Actividades planificadas para los estudiantes	<p>Antes de la sesión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reparar los contenidos vistos en las clases de teoría.</li> <li>Intentar resolver los ejercicios previstos para esta sesión de resolución de ejercicios.</li> </ul> <p>Durante la sesión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tomar apuntes de explicaciones realizadas y pizarra.</li> <li>Participar activamente en la sesión, saliendo a la pizarra para compartir resolución propia de los ejercicios con el resto de la clase o aportando ideas/comentarios sobre siguientes pasos en la resolución de cada ejercicio al/la compañero/a que está en la pizarra.</li> <li>Participar activamente en la sesión, preguntando dudas y realizando comentarios y aportaciones de utilidad para mejorar el desarrollo de la clase y el aprendizaje.</li> </ul> <p>Después de la sesión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Resolver y entregar ejercicio seleccionado para la evaluación.</li> <li>Resolver ejercicios y problemas asociados.</li> <li>Asistir a tutorías o enviar e-mail a docente para aclarar dudas.</li> <li>Participar en el Foro General del Aula Virtual de la Asignatura, tanto para plantear como para participar en la resolución de dudas.</li> </ul>