



Programa de Comunicaciones Digitales

1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

Comunicaciones Digitales

2. CRÉDITOS

11 créditos

3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

En líneas generales se pretende que al finalizar el curso los estudiantes entiendan y manejen las técnicas y herramientas que permiten transmitir bits por un canal analógico de manera confiable. Más en particular, se busca:

- Entender cómo usar la noción de espacio vectorial para representar las señales a enviar por el canal.
- Ser capaz de modelar matemáticamente el problema del receptor, entenderlo en el marco de la teoría de decisión, y diseñar un sistema óptimo bajo ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN).
- Familiarizarse con la representación compleja bandabase de una señal pasabanda.
- Comprender las características básicas de un canal analógico, más allá del modelo sencillo AWGN, en particular en lo que refiere a su función de transferencia.
- Manejar modelos matemáticos más realistas de cualquier equipo de comunicación digital y sus componentes (convertidores, amplificadores, filtros, osciladores, etc.), y entender el impacto que tienen sobre el sistema.
- Conocer las principales técnicas de modulación digital: QAM, FSK, OFDM, etc.
- Introducir la teoría de información, en particular a sus aspectos más fundamentales en cuanto a codificación de fuente y de canal. Es decir, cómo representar (en bits) de manera eficiente una fuente de

mensajes, y límites de desempeño en su representación y transmisión sin error.

- Entender el funcionamiento y las propiedades de algunos códigos correctores de errores usados habitualmente en sistemas de comunicación digitales.

4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Curso semestral con 4 horas semanales de teórico y 1.5hs semanal de ejercicios.

Además, se espera que el estudiante dedique unas 25 horas a la realización de un módulo de laboratorio. Las prácticas servirán para bajar a tierra algunos conceptos manejados durante el curso en aplicaciones concretas. En la medida de lo posible, las mismas se realizarán en el entorno de trabajo de Radio Definida por Software (SDR por su sigla en inglés). Las prácticas serán evaluadas mediante una entrega escrita y una breve defensa oral.

Estimación de horas dedicadas por el estudiante:

Horas presenciales de asistencia a clase

Clases teórico: 4 horas x 15 semanas = 60 horas

Clases práctico: 1.5 horas x 15 semanas = 22.5 horas

Defensas orales: 2 horas en total

Subtotal = 84.5 horas

Horas estimadas de preparación

Preparación domiciliaria de ejercicios y teórico (aproximada) = 60 horas

Preparación domiciliaria de las prácticas (aproximada) = 25 horas

Subtotal = 85 horas

Total = 169.5 horas

5. TEMARIO

1. Introducción y repaso: ¿Qué son las comunicaciones digitales? Pulse Amplitude Modulation (PAM) y su espectro. Códigos de línea. Receptor basado en un pasabajos: probabilidad de error bajo AWGN para transmisiones binarias.
2. Comunicaciones digitales bandabase: El espacio vectorial de las señales. Energía y potencia de una señal. Receptor apareado. Desempeño y optimalidad bajo AWGN. Señalización M-aria. Interferencia intersimbólica y pulsos de Nyquist.

3. Comunicaciones digitales pasabanda: Representación compleja bandabase de una señal pasabanda. Modulación pasabanda lineal (QAM, Quadrature-Amplitude Modulation). Modulación pasabanda exponencial (FSK, Frequency-Shift Keying). Modulación pasabanda OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
4. Canal inalámbrico: Parámetros de equipos de comunicación real (ancho de banda, profundidad y tasa del conversor analógico-digital, factor de ruido, linealidad, etc.): significado e impacto. Modelos físicos sencillos de canal inalámbrico. Modelo entrada/salida de un canal estático.
5. Comunicación multi-usuario: Comunicaciones bidireccionales full y half duplex. Multiplexado. Control de acceso al medio. Entramado.
6. Codificación de fuente: Códigos de largo fijo y variable. Códigos de prefijo y desigualdad de Kraft. Fuente discreta y sin memoria (DMS). Definición, interpretación y propiedades de la entropía. Teorema de codificación de fuente (o Primer Teorema de Shannon). Algoritmo de Huffman para codificación.
7. Codificación de canal: Abstracción del problema de comunicación desde la teoría de información. Codificación de canal. Tasa del código. Entropía condicional y conjunta. Información mutua y capacidad del canal. Teorema de codificación de canal (o Segundo Teorema de Shannon).
8. Códigos correctores de errores: Fundamentos del álgebra de Boole. Distancia de Hamming. Códigos lineales y códigos lineales de bloque. Matriz generadora, matriz de chequeo de paridad y síndrome. Códigos convolucionales: representación y decodificación. Decodificador de Viterbi.
9. Sistemas completos: Se seleccionarán uno o dos ejemplos de sistemas de comunicación digital reales, se presentarán en clase y se discutirán sus características a la luz de lo visto durante el curso. Posibles ejemplos son ISDB-T (televisión terrestre digital), DVB-C (televisión por cable digital), DVB-S (televisión satelital), LoRaWAN, Wi-Fi, HDMI, CD, LTE, telefonía fija digital o imágenes satelitales digitales (como LRPT o HRPT).

6. BIBLIOGRAFÍA

Tema	Básica	Complementaria
1, 2, 3, 4	(1,2)	(3,4)

5	(3)	(4)
6,7	(1)	(3,4)
8	(2)	(3,4)

6.1 Básica

1. Gallager, Robert G. (2008). Principles of Digital Communications. Cambridge University Press. Disponible gratuitamente en forma de notas del curso "6.450 Principles of Digital Communications I, Fall 2006" en el sitio MIT OpenCourseWare (<http://ocw.mit.edu/>).
2. Belzarena, Pablo y Larroca, Federico. Comunicaciones Inalámbricas. Notas disponibles gratuitamente en <https://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/artes/es/investigacion/libro-comunicaciones-inalambricas/>.
3. Molisch, Andreas F. (2011). Wireless Communications (2nd edition). John Wiley & Sons.

6.2 Complementaria

4. Goldsmith, Andrea (2005). Wireless Communications. Cambridge University Press.
5. Rice, Michael (2009). Digital Communications: A Discrete-Time Approach. Pearson Prentice Hall.

7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

7.1 Conocimientos Previos Exigidos: Cálculo diferencial e integral. Álgebra lineal. Análisis de señales y sistemas lineales (respuesta temporal y en frecuencia, manejo de transformada de Fourier y Laplace). Probabilidad. Señales aleatorias y su caracterización (ergodicidad, estacionariedad, densidad espectral de potencia).

7.2 Conocimientos Previos Recomendados: Programación. Electromagnetismo.

ANEXO A

Para todas las Carreras

Esta primera parte del anexo incluye aspectos complementarios que son generales de la unidad curricular.

A1) INSTITUTO

Instituto de Ingeniería Eléctrica.

A2) CRONOGRAMA TENTATIVO

Consiste en un cronograma de avance semanal con detalle de las horas de clase asignadas a cada tema.

Semana 1	Introducción a las comunicaciones digitales. Repaso de PAM y su espectro. Códigos de línea. Receptor basado en un pasabajos: BER bajo AWGN para transmisiones binarias.
Semana 2	Transmisión digital bandabase: el espacio vectorial de las señales. Receptor apareado.
Semana 3	Optimalidad bajo AWGN. Señalización M-aria. Pulsos de Nyquist.
Semana 4	Representación compleja bandabase de una señal pasabanda. Modulación pasabanda.
Semana 5	Canal inalámbrico. Receptores reales y sus parámetros.
Semana 6	OFDM
Semana 7	Comunicación multi-usuario.
Semana 8	Buffer y repaso.
Semana 9	Teoría de información: Codificación de fuente
Semana 10	Teoría de información: Codificación de fuente y canal.
Semana 11	Teoría de información: Codificación de canal
Semana 12	Códigos correctores de errores: Códigos de bloque
Semana 13	Códigos correctores de errores: Códigos convolucionales
Semana 14	Sistemas completos de ejemplo
Semana 15	Buffer y repaso

A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

La evaluación se realizará en tres partes.

Primero, el módulo de laboratorio constará de tres prácticas, por un total de 45 puntos (15 cada una).

Además, durante el correr del semestre los estudiantes prepararán un trabajo final sobre alguna tecnología de comunicaciones digitales, por un total de 35 puntos. Éste incluirá tanto una parte de estudio teórico como la prueba de alguna implementación disponible. Para este trabajo contarán con la tutoría de alguno de los docentes y se realizarán entergas intermedias, además de una presentación final (tanto oral como escrita).

Finalmente, se realizará un control oral individual final de los temas del curso por un total de 20 puntos.

De acuerdo al total de los puntos acumulados en las evaluaciones el estudiante podrá:

(a) Exonerar el curso. Deberá obtener más de 60 puntos en total entre los laboratorios, el trabajo y el oral individual. Deberá obtener más del 50% de los puntos en las tres evaluaciones.

(b) Ganar el curso (derecho a rendir el examen). Deberá obtener más de 25 puntos entre los laboratorios, el trabajo y el oral individual. Deberá obtener más del 25% de los puntos en las tres evaluaciones.

(c) Reprobar el curso. No llegar a 25 puntos entre los laboratorios, el trabajo y el oral individual, y/o obtener menos del 25% en alguna de las evaluaciones.

A4) CALIDAD DE LIBRE

No corresponde.

A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

No hay cupos.

ANEXO B para la(s) carrera(s) XXX

(Un anexo distinto para cada carrera que tome la unidad curricular. En caso de que a dos o más carreras les corresponda información idéntica en este anexo, se utilizará el mismo anexo, explicitando cuáles son todas esas carreras.)

Esta(s) parte(s) del anexo incluye(n) los aspectos que son particulares de cada carrera que tome la unidad curricular.

B1) ÁREA DE FORMACIÓN

El área de formación (materia, según la anterior nomenclatura) identifica las grandes áreas temáticas ligadas a un sector de la ciencia o de la técnica. Cada comisión de carrera evaluará a qué área de formación corresponde la unidad curricular.

B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS

Curso:

Examen:

(Las unidades curriculares previas serán definidas por las carreras que tomen la unidad curricular en cuestión, teniendo en cuenta los conocimientos exigidos que figuran en el programa.)