

## IEE2513 Comunicaciones

### Aspectos Generales

**Clases:** L-W-V:4, sala B16.

Por motivo de viajes del profesor, habrá clases presenciales y clases dictadas online (en vivo). Las clases presenciales estarán más concentradas en algunos períodos. La información oficial sobre la agenda de clases será anunciada en Classroom y llevada en el calendario Google del curso (accesible via Classroom).

Todas las clases del curso serán grabadas audiovisualmente y subidas a un canal privado en YouTube. El objetivo de ello es proveer una herramienta adicional para el estudio y no hacer innecesaria la participación en vivo en clases. La asistencia a clases es *voluntaria* pero *necesaria*. Si la participación flaquea, no se subirá la grabación de la clase.

**Ayudantías:** La ejercitación continua de la materia se realizará mediante tareas. Abordar las tareas con dedicación hace innecesarias las ayudantías. Dudas siempre pueden aclararlas con el profesor.

**Atención de alumnos:** A solicitud individual y en horario y modalidad por definir en cada caso.

**Email y Google Hangouts:** obe@uc.cl.

Favor usar redacción clara y concisa e indicar nombre del alumno y del curso en alguna parte del mensaje.

**Web:** <http://classroom.google.com> (Google Classroom), código de suscripción wvqicq1.

**Créditos:** 10

**Carácter:** Curso perteneciente al *minor* en Electrónica y Telecomunicaciones.

**Requisitos:** IEE 2103 *Señales y Sistemas* y EYP 2113 *Probabilidades y Estadística* o equivalentes según catálogo.

**LatinaUC:** Laboratorio de Tecnologías Inalámbricas UC

- <http://www.latina.uc.cl>
- <https://twitter.com/LatinaUC>
- <https://www.facebook.com/LatinaUC>

## Descripción

Este curso dota al alumno con el conocimiento teórico y las herramientas matemáticas necesarias para comprender los fundamentos de las tecnologías modernas de comunicaciones. Los estudiantes aprenden a modelar y analizar dichos sistemas a la luz de los compromisos que ello involucra en términos de eficiencia espectral, eficiencia energética y complejidad de implementación.

## Objetivos

Al finalizar el curso el alumno será capaz de:

1. Comprender los componentes y estructura básica de un sistema de comunicaciones: fuente de datos, codificación, modulación, canal, ruido, redes y protocolos, modelo OSI.
2. Comprender y distinguir los métodos principales de modulación analógica: modulación de amplitud (AM) y sus variantes (banda lateral doble, BLD, y banda lateral única, BLU), y modulación de frecuencia (FM); saber modelarlos matemáticamente y analizar sus propiedades fundamentales en los dominios del tiempo y de frecuencia. Recordar la función de un *phase-locked loop*.
3. Comprender los fundamentos de procesos estocásticos. Saber analizar procesos estocásticos mediante sus funciones de media y autocorrelación, densidad espectral de potencia, saber aplicarlos al caso de ruido térmico y al análisis de sistemas de comunicaciones digitales.
4. Modelar señales, sistemas lineales y ruido de pasabanda mediante la representación equivalente de banda base y saber aplicarla para evaluar el desempeño de sistemas de comunicaciones digitales.
5. Conocer la estructura óptima de un receptor de comunicaciones digitales (filtro adaptado) y saber aplicarla a modulaciones digitales comunes.
6. Conocer la representación geométrica de señales, espacio de señales y formulación geométrica del receptor óptimo y saber aplicarla al análisis y evaluación de desempeño de sistemas de comunicaciones digitales comunes.
7. Evaluar el desempeño de probabilidad de error de las modulaciones más comunes (PAM y QAM) y aplicar reglas de equivalencia para comparar su desempeño.
8. Conocer y distinguir la interferencia intersimbólica y el patrón de ojo, conocer la noción de ecualización.
9. Conocer los límites fundamentales en comunicaciones, entropía y capacidad del canal Gaussiano, y saber aplicarlos.
10. Conocer los conceptos relacionados con redes de computadores y recordar el modelo OSI.

## Contenido

1. *Introducción*: Estructura de un sistema de comunicaciones: fuente de datos, codificación, modulación, canal; ruido; redes y protocolos, modelo OSI; aspectos históricos.
2. *Modulación analógica*: Modulación de amplitud (AM) y sus variantes (banda lateral doble, BLD, y banda lateral única, BLU); modulación de frecuencia (FM), phase-locked loops.
3. *Ruido*: Procesos estocásticos: estacionariedad y ergodicidad, autocorrelación, densidad espectral de potencia; ruido térmico.
4. *Modulación digital en banda base*: Filtro adaptado; probabilidad de error; nociones sobre interferencia intersimbólica, patrón de ojo.
5. *Representación equivalente de banda base*: Transformada de Hilbert, pre-envolvente, envolvente compleja; representación de sistemas y ruido de pasabanda en banda base.
6. *Transmisión digital en pasabanda*: Representación geométrica de señales, espacio de señales y formulación geométrica del receptor; FSK y PSK binario coherente, probabilidad de error;  $M$ -PAM y  $M$ -QAM coherente; comparación de desempeño.
7. *Límites fundamentales en comunicaciones*: Entropía y capacidad de canal.

## Programa

Clase	Contenido	Lectura [1]
1	Introducción, información vs. datos, formalización de conceptos: “¿Que es comunicación?”, medio, energía, dispositivos, compromiso tripartito (eficiencia espectral, eficiencia energética, complejidad de implementación).	
2	Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones, modelo ISO de 7 capas, amplitud modulada, señal en el tiempo y frecuencia, sobre-modulación, portadora y bandas laterales, ancho de banda de la señal AM.	1.1.1–1.1.2
3	Índice de modulación, método de medición, eficiencia de la modulación AM, detector de envolvente.	1.1.3–1.1.6
4	Modulación de banda lateral doble con supresión de portadora (BLD-SP), receptor de Costas.	1.2
5	Modulación de banda lateral única (BLU), modulación usando el transformador de Hilbert.	1.3
6	Modulaciones de ángulo: frecuencia modulada (FM) y fase modulada (PM), similitudes, comparación con AM.	1.4.1
7	Modulación FM de un tono puro, desviación de frecuencia e índice de modulación.	1.4.2
8	Espectro de frecuencia de una modulación FM de un tono puro. Funciones de Bessel.	1.4.3

<b>Clase</b>	<b>Contenido</b>	<b>Lectura [1]</b>
9	Ancho de banda de señales FM, regla de Carson, criterio del 1%. Ancho de banda de señales arbitrarias.	1.4.4–1.4.5
10	Modulación y demodulación de señales FM, método directo (VCO) e indirecto (modulador FM de banda angosta seguido por un multiplicador de frecuencia), demodulación mediante circuito de pendiente (derivador) seguido por detector de envolvente.	1.4.6–1.4.7
11	Repaso de probabilidades. Procesos estocásticos, definición, realizaciones, relación con variables aleatorias.	
12	Función de media y autocorrelación, propiedades, procesos estocásticos estacionarios, proceso estacionario en el sentido amplio.	
13	Procesos estocásticos ergódicos, densidad espectral de potencia, teorema de Wiener-Kinchin.	
14	Ruido térmico. Procesos estocásticos a través de filtros lineales. Propiedades de procesos Gaussianos.	
15	Introducción a comunicaciones digitales.	
16	Receptor óptimo en base a filtro adaptado, caso binario y transmisión de un sólo bit.	
17	Filtro adaptado, ejemplos. Simplificación del receptor óptimo y transmisión de mensajes binarios arbitrarios.	
18	Probabilidad de error de bit, cálculo para un sistema binario antipodal.	
19	Transmisión M-aria, M-PAM, probabilidad de error de símbolo de M-PAM.	
20	Probabilidad de error de símbolo en función de la razón señal a ruido por bit, caso M-PAM, energía promedio por símbolo, probabilidad de error de bit.	
21	Representación equivalente de banda base, Transformada de Hilbert, propiedades espectrales, pre-envolvente y envolvente compleja, diagrama de bloques para conversión de radiofrecuencia.	
22	Representación equivalente de sistemas y ruido de pasabanda.	
23	Transmisión digital de pasabanda y su representación en banda base, ejemplo de BPSK e introducción de QPSK.	
24	Receptor óptimo con envolventes complejas, caso general y simplificación, ejemplificación mediante QPSK.	
25	Interpretación geométrica de señales, representación geométrica del ruido.	
26	Probabilidad de error en comunicaciones digitales de pasabanda y comentarios finales comunicaciones digitales de pasabanda.	
27	Introducción a la teoría de información.	
28	Entropía y compresión, códigos Huffman.	
29	Capacidad de canal. Nociones de codificación, código de repetición.	

## Metodología

Clases expositivas complementadas con tareas.

## Evaluación

Tareas semanales, dos interrogaciones y un examen final.

**Interrogación 1 ( $I_1$ ):** Lunes 17 de abril en horario de clases.

**Interrogación 2 ( $I_2$ ):** Miércoles 31 de mayo a las 18:30 horas.

**Examen ( $E$ ):** Viernes 23 de junio a las 8:30 am. Incluye toda la materia del semestre pero con énfasis en la materia no examinada desde la última interrogación.

El resultado de las interrogaciones y del examen será un puntaje. Para la conversión de puntaje a nota en cada caso considerará el puntaje máximo alcanzable y, para obtener un 4,0, un umbral de conocimientos mínimos que el alumno debe demostrar en la evaluación correspondiente.

Las tareas serán individuales y podrán incluir cualquier asignación de trabajo individual conducente a reforzar el aprendizaje. Ello incluye ejercicios teóricos, mini-proyectos computacionales, estudio de apuntes con breves controles en clase, etc. Se calculará la nota de tareas ( $T$ ) en proporción lineal a la suma de los puntajes máximos alcanzables en todas las tareas.

En caso de inasistencia a una interrogación, la ponderación correspondiente será traspasada automáticamente al examen final. El examen final es obligatorio y no habrá eximición.

La aprobación está condicionada a cumplir con los siguientes criterios:

$$A = 0,2I_1 + 0,35I_2 + 0,45E.$$

La nota final ( $F$ ) será calculada como

$$F = \begin{cases} 0,9A + 0,1T & A \geq 4,0 \\ \text{mín}(0,9A + 0,1T; 3,9) & A < 4,0 \end{cases}.$$

## Compromiso con el Código de Honor de la Universidad

Este curso adscribe al Código de Honor de la Pontificia Universidad Católica de Chile y todo estudiante del curso declara conocerlo y respetarlo:

“Como miembro de la comunidad de la Pontificia Universidad Católica de Chile me comprometo a respetar los principios y normativas que la rigen. Asimismo, prometo actuar con rectitud y honestidad en las relaciones con los demás integrantes de la comunidad y en la realización de todo trabajo, particularmente en aquellas actividades vinculadas a la docencia, el aprendizaje y la creación, difusión y transferencia del conocimiento. Además, velaré por la integridad de las personas y cuidaré los bienes de la Universidad.”

## Relación con otras materias

El curso recurre intensivamente a herramientas matemáticas de los cursos IEE 2103 *Señales y Sistemas* y EYP 1113 *Probabilidades y Estadística*, o bien de sus símiles en currículos anteriores. A su vez, *Comunicaciones* es requisito “duro” para la mayoría de los cursos en el área de telecomunicaciones, listados a continuación, y es un buen complemento para cursos de sistemas digitales y electrónica:

- IEE 2573 Laboratorio de Telecomunicaciones
- IEE 3513 Comunicaciones Digitales
- IEE 3542 Transmisión de Datos
- IEE 3553 Sistemas de Codificación
- IEE 3584 Comunicaciones Inalámbricas
- IEE 3592 Sistemas de Comunicaciones Inalámbricas (ocasional)
- IEE 3573 Seminario de Telecomunicaciones (ocasional)

## Referencias

- [1] C. Oberli, *Apuntes de Telecomunicaciones*, 2016-1 ed., Mar. 2016. [Online]. Available: [www.latina.uc.cl](http://www.latina.uc.cl)
- [2] S. Haykin, *Communication Systems*, 4th ed. Wiley, 2001.
- [3] L. W. Couch, *Digital and Analog Communication Systems*, 6th ed. Prentice Hall, 2001.
- [4] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed. McGraw-Hill, 2000.
- [5] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles & Practice*, 2nd ed. Prentice Hall, 2001.

El curso seguirá los apuntes [1] y tendrá una relación cercana con [2]; [3] es un buen complemento y [4, 5] son para alumnos interesados tópicos avanzados.