

## IEE3584 Comunicaciones Inalámbricas

### Aspectos generales

**Clases:** M-J:1.

Por motivo de viajes del profesor, habrá clases presenciales y clases online (en vivo). La agenda de clases será llevada en el calendario Google del curso (accesible via Classroom), donde se indicará si la clase es presencial u online, y el canal correspondiente.

Las clases presenciales serán en la sala de clases del Departamento de Ingeniería Eléctrica. 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, no para hacer innecesaria la participación en vivo en clases. La participación en vivo en las clases es *necesaria*. Si la participación flaquea, no se subirá la grabación de la clase.

**Ayudantías:** No habrá ayudantías regulares. La ejercitación continua de la materia se realizará mediante trabajo individual. Según necesidad se ejercitará durante las clases presenciales (manifestaciones de interés por parte de los alumnos son bienvenidas) y dudas individuales siempre pueden aclararlas con el profesor.

**Contacto:** El profesor puede ser contactado indistintamente por email o Google Hangouts (chat y video) con la dirección `obe@uc.cl`. Favor usar redacción clara y concisa e indicar nombre del alumno y del curso en alguna parte del mensaje. La atención de alumnos será agendada mediante solicitud por cualquiera de estas vías.

Estar preparado para interactuar con el profesor via Google Hangouts durante las clases es obligatorio.

**Web:** <http://classroom.google.com> (Google Classroom), código de suscripción 135rm6 con credenciales Gmail UC.

### Objetivos

El objetivo de este curso es dotar al alumno con los conocimientos teóricos y las herramientas matemáticas necesarias para comprender y modelar los fenómenos de propagación del canal inalámbrico y enseñarle a aplicar estos conocimientos al análisis, diseño y simulación de sistemas modernos de comunicaciones digitales inalámbricas. Los alumnos aprenderán los compromisos que ello involucra en términos de eficiencia espectral, eficiencia energética y complejidad de implementación.

## Contenido

1. *Propagación de ondas de radio*: pérdida por distancia, desvanecimiento de sombra y desvanecimiento local plano. Intensidad de campo y aspectos regulatorios.
2. *Desempeño en ambientes con desvanecimiento*: distribución estadística de la razón señal a ruido, probabilidad de error, presupuesto de enlace.
3. *Movilidad*: canales variables en el tiempo, dispersión Doppler y correlación temporal del canal, tiempo de coherencia.
4. *Desvanecimiento selectivo en frecuencia*: canales dispersivos, medidas de dispersión y ancho de banda de coherencia, relación entre dispersión y tasa de datos.
5. *Modulación OFDM*: multiplexación por división en frecuencia, caso ortogonal, implementación digital mediante transformada rápida de Fourier, relación entre número de subportadoras y ancho de banda de coherencia, intervalo de guarda y prefijo cíclico.. Aplicación redes de área local (WLAN, WiFi, IEEE 802.11a/b/g).
6. *Tecnologías de múltiples antenas*: arreglos de antenas, beamforming y diversidad, canales MIMO, compromiso entre ganancia de diversidad y ganancia de multiplexación, acceso múltiple por división espacial y sistemas celulares de tercera y cuarta generación (LTE y LTE-Advanced) e IEEE 802.11n.
7. *Sistemas celulares*: teoría de patrones celulares, división de celdas, sectorización, handoff y roaming, duplexing. Sistemas celulares de primera y segunda generación.
8. *Redes inalámbricas de sensores*: tipos de aplicaciones, aspectos de consumo energético, protocolos, estado del arte.

## Programa

Clase	Contenido
1	Introducción, pérdida por distancia en el espacio libre (ecuación de Friis), pérdida por distancia en ambientes con obstáculos, exponente de pérdida por distancia. Intensidad de campo y aspectos regulatorios.
2	Desvanecimiento de sombra, concepto, técnicas de modelamiento (nociones de <i>ray tracing</i> , medición empírica, modelamiento estadístico), deducción del modelo log-normal.
3	Desvanecimiento local, concepto, función del tiempo, espacio y frecuencia, fundamentación física (refracción, reflexión, difracción, <i>scattering</i> ).
4	Desvanecimiento local, formulación matemática, distribución Rayleigh.
5	Desvanecimiento local, ejemplos. Distribución estadística de la razón señal a ruido en ambientes con desvanecimiento Rayleigh. Probabilidad de <i>outage</i> y probabilidad de error en ambientes con desvanecimiento local.
6	Presupuesto de enlace.
7	Correlación temporal del desvanecimiento observado por un móvil, densidad espectral de potencia de Clarke (aka Jakes), función de autocorrelación.
8	Tiempo de coherencia. Duración media del desvanecimiento ( <i>average duration of fades</i> ) y tasa de cruce de nivel ( <i>level crossing rate</i> ). Correlación espacial del desvanecimiento.
9	Canales dispersivos. Modelamiento como respuesta al impulso de un filtro, modelo de Saleh & Valenzuela, retardo excesivo medio y dispersión RMS.
10	Desvanecimiento selectivo en frecuencia, ancho de banda de coherencia, relación con la tasa de datos y con la dispersión RMS.
11	Desvanecimiento selectivo en frecuencia y su relación con interferencia intersimbólica, ejemplos.
12	OFDM.
13	OFDM. Estándares IEEE 802, familia de estándares inalámbricos 802.11.
14	<i>Beamforming</i> con arreglos de antenas para propagación en espacio libre, formulación matemática, patrón de radiación, ejemplos.
15	Diversidad. Introducción, tipos de diversidad (espacio, tiempo, frecuencia, polarización). Combinación por selección y por ganancia.
16	Probabilidad de <i>outage</i> de selección pura y por umbral. Ganancia de diversidad. Combinación por ganancias, optimalidad (MRC, <i>maximum ratio combining</i> ).
17	Probabilidad de <i>outage</i> de MRC, ganancia de diversidad y comparación con combinación por selección. Metodología de cálculo de probabilidades de error en sistemas con diversidad.
18	Diversidad de transmisión. Introducción a las comunicaciones MIMO, compromiso entre diversidad y multiplexación. Capacidad del canal MIMO, fórmula “log-det”, casos específicos. Capacidad ergódica y de <i>outage</i> .
19	Comunicaciones MIMO con canal conocido en el transmisor, descomposición de valor singular. Canal desconocido en el transmisor, receptores ZF, MMSE y ML.
20	Comunicaciones MIMO para ganancia de diversidad, códigos de tiempo-espacio, código de Alamouti.

Clase	Contenido
21	Sistemas celulares, reutilización de frecuencias, interferencia de co-celda y razón señal a interferencia, división de celdas, sectorización, <i>handoff</i> , <i>roaming</i> , <i>duplexing</i> .
22	Sistemas celulares de primera generación AMPS e ETACS y USDC de segunda generación.
23	Sistemas GSM de segunda generación y mapa evolutivo de estándares celulares.
24	Estándares celulares emergentes, CoMP, LTE, LTE-Advanced, 5G Estado del arte.
25	Redes inalámbricas de sensores.
26	Redes inalámbricas de sensores.
27	Redes inalámbricas de sensores.
28	Redes inalámbricas de sensores.

## Metodología

Clases expositivas complementadas con tareas.

## Evaluación

Las tareas serán individuales y podrán incluir ejercicios teóricos, experimentos computacionales, mini-proyectos computacionales, búsquedas bibliográficas, presentaciones o controles en clase, etc. Se calculará una nota de tareas,  $T$ , proporcional a la suma de los puntajes de las tareas con respecto al puntaje de tareas máximo posible.

La asistencia será registrada por el profesor en la mayoría de las clases en algún momento arbitrario. Los alumnos presentes recibirán 1 punto. Se calculará una nota de asistencia,  $A$ , proporcional a la suma de los puntajes de asistencia con respecto al puntaje de asistencia máximo posible.

La aprobación del curso está condicionada a cumplir con los siguientes dos criterios:

1.  $A \geq 5,5$  (equivale a tener al menos 75 % de asistencia).
2. Se debe lograr al menos 50 % del puntaje en el 75 % de las tareas.

En caso de cumplirse los criterios anteriores, la nota final  $F$  será

$$F = 0,8T + 0,2A.$$

De lo contrario, la nota final será calculada como  $F = \min\{0,8T + 0,2A; 3,9\}$

## Relación con otras materias

El curso recurre intensivamente a herramientas matemáticas del curso *Análisis de Señales* (IEE 2102), *Probabilidades* (EYP 1112), y a los conceptos de comunicaciones digitales tratados en *Telecomunicaciones* (IEE 2512).

## Referencias

- [1] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2005.
- [2] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge University Press, 2005.
- [3] M. D. Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*. CRC Press, 1993.
- [4] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, 2nd ed. Wiley-IEEE Press, 1994.
- [5] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles & Practice*, 2nd ed. Prentice Hall, 2001.
- [6] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed. McGraw-Hill, 2000.