



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

## Señales Aleatorias y Modulación

### 1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

Señales Aleatorias y Modulación

### 2. CRÉDITOS

8 créditos

### 3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

En líneas generales, se pretende:

- Introducir al estudiante al ruido inherente a cualquier proceso de adquisición y medida, y en particular al sensado de señales que observamos en la realidad.
- Dotar al estudiante de los conocimientos de modelado matemático y análisis de señales o procesos estocásticos, desarrollando la comprensión de su complejidad.
- Familiarizar al estudiante con las herramientas matemáticas que permitan simplificar el modelado.
- Comprender el comportamiento de los procesos de ruido estocásticos estacionarios en sentido estricto y en sentido amplio, a sus herramientas de análisis, y al diseño de sistemas que permitan estimar o detectar señales de interés contaminadas por estos tipos de ruido.
- Introducir al estudiante a las estrategias de filtrado adaptativo para resolver problemas de estimación o detección de señales de interés, en presencia de ruido no estacionario.
- Introducir la noción de ergodicidad, estudiar casos en donde la hipótesis de ergodicidad sobre los procesos estocásticos observados tiene sentido, y entender sus implicancias en lo que refiere al diseño de los sistemas que adquieren este tipo de señales.
- Presentar la teoría básica para modelar y analizar sistemas de comunicación punto a punto.
- Introducir las principales técnicas de modulación analógica, así como el modelado básico de canales de comunicación.
- Brindar herramientas para el diseño y optimización de sistemas de comunicación analógicos, así como el análisis de su desempeño.

#### **Objetivos Específicos**

**Objetivos específicos de la ganancia de curso:** Se pretende que al aprobar el curso de la asignatura el estudiante sea capaz de:

- Identificar y caracterizar procesos de ruido, en particular en lo que refiere a la estacionariedad en sentido amplio, y a la ergodicidad.

tiempo (media, matriz de autocorrelación) como en frecuencia (densidad espectral de potencia).

- Saber caracterizar el proceso de salida de un sistema lineal, invariante en el tiempo, ante una señal de entrada aleatoria, estacionaria en sentido amplio. Comprender que en el caso no estacionario, deben contemplarse estrategias de filtrado adaptivo.
- Entender el origen del ruido de cuantificación, su modelo, y cómo se llega a este modelo.
- Modelar un sistema de comunicación analógica punto a punto, con un manejo fluido del modelo de canal AWGN.
- Tener claros los conceptos básicos detrás del diseño de sistemas de comunicación AM y FM, conociendo los cálculos y el desempeño en cada caso.

**Objetivos específicos de la asignatura:** *Se pretende que, al aprobar la asignatura, el estudiante haya alcanzado los objetivos de la ganancia de curso y además sea capaz de:*

- Demostrar solvencia en todos los puntos anteriores, y poder extrapolar las metodologías vistas en el curso a otras aplicaciones de la ingeniería que requieran resolver problemas de detección o de estimación.
- Dominar los conceptos básicos de modulación y modelado de sistemas de comunicación analógicos, que permitan al estudiante abordar sin problemas los cursos más avanzados en la temática (ej. modulación digital, redes inalámbricas).

La lista precedente no debe entenderse como una enumeración exhaustiva.

#### **4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA**

Se dictarán semanalmente dos clases teóricas de 1.5 horas cada una, y una clase práctica de 1.5 horas. En las clases teóricas se presentarán los temas de forma expositiva, conectando con ejemplos de aplicación en diferentes áreas. En las clases prácticas se realizarán ejercicios que permitirán asentar el conocimiento teórico y desarrollar las habilidades prácticas para resolver aplicaciones concretas.

#### **5. TEMARIO**

El curso se estructura en dos bloques. El primero se centra en la caracterización de los procesos estocásticos como señales aleatorias, en el dominio temporal o espacial, y en frecuencia. En el segundo bloque, se presentan sistemas de comunicación, y se analizan mediante las técnicas tratadas en el primer bloque. Al mismo tiempo, se busca enmarcar estos análisis en las metodologías generales de estimación y de detección, ilustrando con breves ejemplos en otras áreas aplicativas del procesamiento de señales.

##### Parte A: PROCESOS ESTOCÁSTICOS

###### **1 INTRODUCCIÓN. PROCESOS ESTOCÁSTICOS: NOCIONES BÁSICAS**

Repaso de probabilidad.

Procesos estocásticos (tiempo discreto y continuo): Definición. Media, potencia, estacionariedad, Independencia, autocorrelación, estacionariedad en sentido amplio. Ergodicidad.

###### **2 SEÑALES ALEATORIAS: NOCIONES BÁSICAS**

varianza. Estacionariedad. Autocorrelación y autocovarianza.

### 3 SEÑALES ALEATORIAS: CARACTERIZACIÓN EN FRECUENCIA. EJEMPLOS DE PROCESOS

Funcionales lineales de un proceso (ejemplo: filtrado). Densidad espectral de potencia. Ruido blanco Gaussiano; random walk, proceso browniano. Estimación espectral.

4 MUESTREO Y FILTRADO DE PROCESOS, ESTACIONARIOS Y NO ESTACIONARIOS  
Muestreo y PAM (e interpretación como filtrado). Filtrado de procesos: filtro de Wiener, filtro apareado. Interpretación en el marco general de la teoría de la estimación (ML y MAP). Caso no estacionario: STFT y espectrograma; filtrado adaptivo.

### 5 RUIDO DE CUANTIZACIÓN

Cuantización: definición y justificación. Ruido de cuantización. SNR. Aplicaciones: oversampling y dithering.

## PARTE B: SEÑALES Y SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

### 1 INTRODUCCIÓN A SEÑALES Y SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Análisis de sistemas de comunicación banda base. Caracterización de la señal y el ruido. Modelo simplificado de canal. Señales y ruido. Cálculo de SNR. Repetidores analógicos.

### 2 MODULACIÓN LINEAL AM, DBL, BLU, BLV

Formas de onda, modulación y demodulación. Representación compleja bandabase de una señal pasabanda (fase y cuadratura). Receptores.

### 3 MODULACIÓN EXPONENCIAL

Introducción, FM, PM, modulación de tono en FM.  
Cálculo del ancho de banda, limitadores, generación de FM, demodulación.

### 4 RUIDO EN COMUNICACIONES ANALÓGICAS

Ruido pasabanda en modulación lineal y modulación exponencial, efecto umbral en FM. SNR para cada caso.

### 5 INTRO A SISTEMAS DIGITALES Y TEORÍA DE LA DETECCIÓN

Ejemplo: Canal sencillo bandabase (ruido, atenuación, transferencia); AWGN; SNR. Teoría de la detección, umbrales de decisión para decisión en transmisión/recepción. FP, FN, teoría de Neyman-Pearson.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Tema	Básica	Complementaria
A1, A2, A3, A4, A5	(1, 2)	(5, 6, 7)
1. B1, B2, B3, B4, B5	(3, 4)	(8, 9)

### 6.1 Básica

1. W. A. Gardner. Introduction to random processes with applications to signals and systems, 2nd edition. McGraw-Hill, 1990. ISBN-13: 9780070228559.  
Disponibile gratuitamente en la página web del autor:  
<http://wcdavis.hay.com/ehered/etetic/ln607mduwhia1a0a0n4u.pdf>

- 14
2. John A. Gubner. Probability and Random Processes for Electrical and Computer Engineers. Cambridge University Press, 2006.
  3. Introduction to Analog and Digital Communications, 2nd Edition, S. Haykin, M. Moher. Wiley, 2008. ISBN-13: 978-0471432227.
  4. Communication Systems. 5th Edition. by A. Bruce Carlson, Paul Crilly. McGraw-Hill, 2009. ISBN-13: 978-0073380407.

## 6.2 Complementaria

5. B. Kovacevic and Z. Durovic. Fundamentals of Stochastic Signals, Systems and Estimation Theory: With worked Examples, 2nd edition. Springer, 2008. ISBN-13: 978-3540709909.
6. A. Papoulis and S. U. Pillai. Probability, Random Variables and Stochastic Processes, 4th Edition. McGraw-Hill Europe, 2002. ISBN-13: 978-0071226615.
7. Robert G. Gallager. Stochastic Processes: Theory for Applications. Cambridge University Press, 2014.
8. Fundamentals of Communications Systems, Michael P. Fitz 1st edition, McGraw-Hill, 2007. ISBN-13: 978-0071482806.
9. Sistemas de Comunicación Digitales y analógicos. L. W. Couch II – 7ma Edición. Prentice Hall, 2008. ISBN: 9789702612162.

## 7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

**7.1 Conocimientos Previos Exigidos:** Teoría de circuitos, ecuaciones diferenciales, modelo de sistemas físicos, cálculo diferencial e integral, álgebra lineal, análisis de señales y sistemas lineales (respuesta temporal y en frecuencia, manejo de transformadas de Laplace y Fourier) y conceptos básicos de probabilidad.

**7.2 Conocimientos Previos Recomendados:** Probabilidad, programación.

## 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	Tema A1 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 2	Tema A2 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 3	Tema A3 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 4	Tema A4 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 5	Tema A4 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 6	Tema A5 ((4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 7	Tema B1 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 8	Tema B2 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 9	Tema B3 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 10	Tema B4 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 12	Tema B5 (4.5 hs de clase, 3T+1.5P)
Semana 13	
Semana 14	
Semana 15	

#### A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Se realizarán dos pruebas parciales durante el curso, cada una de 50 puntos. Eventualmente se podrán pedir entregas de ejercicios durante el curso (un máximo de dos entregas obligatorias, por un máximo de 20 puntos), en cuyo caso los puntos se repartirán de forma tal que las entregas y los parciales sumen 100 puntos.

De acuerdo al total de los puntos acumulados en las evaluaciones el estudiante podrá: (a) aprobar la asignatura acumulando 60 o más puntos, (b) ganar el curso acumulando 25 o más y menos de 60 puntos debiendo dar el examen para aprobar la asignatura, o (c) reprobado la asignatura acumulando menos de 25 puntos.

El examen consistirá en una prueba con contenidos teóricos y prácticos.

#### A4) CALIDAD DE LIBRE

Si.

#### A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Cupos: No tiene.

## ANEXO B para la carrera Ingeniería em Sistemas de Comunicación

### B1) ÁREA DE FORMACIÓN

5 créditos en Fundamentos de Comunicación y Señales y 3 créditos en Transmisión de la Información.

### B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS

Curso: 30 créditos en física  
59 créditos en Matemáticas  
5 créditos en Fundamentos  
el examen de Probabilidad y estadística  
los cursos de Señales y Sistemas y Teoría de Circuitos

alternativamente se podrá cursar si se tiene el curso de Probabilidad y estadística, el examen de Sistemas Lineales 1 o el de Sistemas Lineales 2

Examen: no tiene

1

APROB. RES. CONSEJO DE FAC. ING.

Fecha 06/08/2019 Exp. 060180-001113-19

**ANEXO B para la carrera Ingeniería Eléctrica****B1) ÁREA DE FORMACIÓN**

4 créditos en Fundamentos y 4 créditos en Telecomunicaciones

**B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS**

Curso: 40 créditos en Física  
59 créditos en Matemáticas  
5 créditos en Fundamentos  
el examen de Probabilidad y estadística  
los cursos de Señales y Sistemas y Teoría de Circuitos

Alternativamente se podrá cursar si se tiene  
el curso de Probabilidad y Estadística,  
el examen de Sistemas Lineales 1 o el de Sistemas Lineales 2.

Examen: el curso de la asignatura