



Ministerio de Cultura y Educación  
Universidad Nacional de San Luis  
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales  
Departamento: Electrónica  
Area: Electrónica

(Programa del año 2022)

### I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
COMUNICACION DE DATOS	ING. EN COMPUT.	28/12	2022	1° cuatrimestre

### II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
KIESSLING DURAN, ROBERTO ANIBA	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
GERAIGES MAGRINI, ALEJANDRO MA	Auxiliar de Práctico	A.1ra Semi	20 Hs

### III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
Hs	2 Hs	2 Hs	3 Hs	7 Hs

Tipificación	Periodo
B - Teoría con prácticas de aula y laboratorio	1° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
21/03/2022	24/06/2022	14	90

### IV - Fundamentación

La innovación tecnológica y la acelerada convergencia entre las comunicaciones y las tecnologías de la información, hacen que del conocimiento de estas tecnologías un factor clave para la formación integral de los futuros ingenieros y su preparación para enfrentar el mercado laboral.

Esta asignatura pretende introducir los fundamentos teóricos de las comunicaciones electrónicas y sus aplicaciones prácticas en sistemas de comunicaciones modernos. Se presentan los conceptos mediante el uso de software de modelado y simulación, en forma interactiva combinando teoría y práctica. Se procura la adquisición por parte de los alumnos de competencias de análisis, modelado, simulación y cálculo de sistemas de comunicación, así como de las señales involucradas.

### V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

El principal objetivo del curso es que el alumno aprenda los conceptos básicos de la teoría de las comunicaciones, desarrolle competencias técnicas mediante actividades prácticas y de simulación, resuelva problemas habituales en la especialidad y se interiorice del estado del arte de los actuales sistemas de comunicaciones. Al finalizar el curso el alumno debe ser capaz de entender:

- Los principios básicos del tratamiento de señales y sistemas, en sus formas continuas y discretas, a través del análisis de Fourier, en el dominio del tiempo y de la frecuencia.
- Los conceptos básicos de un sistema de comunicación, sus componentes, su modelización y las variables que lo apartan del sistema ideal.
- Los métodos de modulación y demodulación, tanto de onda continua (comunicaciones analógicas) como de pulsos, esta última en su versión analógica y digital.

- La transmisión de las señales en banda-base y en pasa-banda, conjuntamente con las técnicas de multiplexación.
- Las nuevas técnicas de modulación-demodulación y transmisión, como el caso de las técnicas de espectro expandido.
- Conocer los sistemas de comunicaciones en su concepto básico, sus principios de funcionamiento, sus alcances y limitaciones tanto teóricas como tecnológicas.

## VI - Contenidos

### **BOLILLA 1: Introducción a la Teoría de las Comunicaciones**

Breve historia de las comunicaciones. Proceso de comunicación. Elementos de un sistema de comunicación. Diferentes tipos de fuentes de información. Diferentes tipos de canales de comunicaciones. Radio definida por software (SDR, Software Defined Radio) y tecnologías relacionadas. Señales de banda-base y pasa-banda. Representación de señales y sistemas; análisis de Fourier. Consideraciones probabilísticas. El proceso de modulación; porque se modula; tipos de modulación. Recursos primarios en comunicaciones; potencia y ancho de banda.

### **BOLILLA 2: Análisis Espectral. Representación de Señales y Sistemas**

Sistemas de corriente alterna y redes; funciones de transferencia y respuesta en frecuencia. Transformada de Fourier; espectro continuo; pulso rectangular; pulso exponencial. Propiedades de la transformada de Fourier; linealidad; cambio de escala; dualidad; retardo en el tiempo; traslación en frecuencia; área bajo  $g(t)$ ; área bajo  $G(f)$ . Relación inversa entre tiempo y frecuencia; ancho de banda; producto tiempo-ancho de banda. Función delta de Dirac; aplicaciones de la función delta de Dirac. Transformada de Fourier de señales periódicas. Filtros. Transformada de Hilbert; propiedades de la transformada de Hilbert. Pre-envolvente. Representación canónica de señales pasa-banda. Problemas.

### **BOLILLA 3: Modulación y Demodulación Analógica.**

Introducción. Modulación de amplitud (AM). Virtudes y limitaciones de la modulación de amplitud. Esquemas de modulación lineal. Modulación de doble banda lateral con portadora suprimida (DSB-SC); modulador de anillo; detección coherente; receptor Costas; multiplexación de portadora en cuadratura; Modulación de banda lateral única (SSB); Modulación de banda vestigial (VSB). Traslación en frecuencia. Multiplexación por división de frecuencia (FDM). Modulación angular; definiciones básicas. Modulación de frecuencia (FM); modulación de frecuencia de banda angosta; ancho de banda de transmisión de señales FM; generación de señales FM; demodulación de señales FM. Receptor superheterodino. Problemas.

### **BOLILLA 4: Modulación y Demodulación Digital.**

Introducción. Proceso de muestreo; teorema del muestreo; filtro pasa-bajo anti-aliasing. Modulación de amplitud de pulso (PAM). Otros tipos de modulación; modulación por duración de pulso (PDM); modulación por posición de pulso (PPM); Generación de una onda binaria PCM. Proceso de cuantización; cuantizador uniforme y no uniforme; características del cuantizador; ruido de cuantización. Modulación por codificación de pulsos (PCM); muestreo; cuantización no uniforme; Ley A y Ley  $\mu$ ; codificación; códigos de línea; codificación diferencial; regeneración; decodificación; filtrado. Consideraciones de ruido en sistemas PCM; ruido de canal; ruido de cuantización; umbral de error. Multiplexación por división de tiempo (TDM); sincronización; sistemas T1 y E1 – Recomendación UIT-T G.711. Multiplexación digital. Virtudes, limitaciones y modificaciones de PCM. PCM de modulación delta; transmisor y receptor con modulación delta; sobrecarga de pendiente; ruido granular. Transmisión de pulsos. Problemas.

### **BOLILLA 5: Transmisión Digital en Banda-Base.**

Introducción. Comunicaciones digitales. Transmisión digital en banda-base. Líneas digitales de abonados; Códigos de línea para DSL; Línea digitales de abonados asimétricas; Síntesis de tipos de DSL. Transmisión de pulsos; interferencia inter-símbolos; diafonía. Patrones de ojos; relación con la interferencia inter-símbolos. Problemas.

### **BOLILLA 6: Transmisión Digital en Pasa-Banda.**

Comunicaciones digitales. Radio digital. Señalización pasabanda modulada binaria. Modulación digital de amplitud; modulación por manipulación encendido-apagado (OOK). Manipulación por desplazamiento de frecuencia (FSK); Tasa de bits FSK y baudios; transmisor FSK; ancho de banda en FSK; receptor FSK. Manipulación por desplazamiento de fase (PSK) genérica. Manipulación por desplazamiento binario de fase (BPSK); transmisor BPSK; consideraciones de ancho de banda en BPSK; receptor BPSK; codificación M-ária. Manipulación por desplazamiento cuaternario de fase (QPSK); transmisor QPSK; consideraciones de ancho de banda con QPSK; receptor QPSK. PSK de 8 fases; transmisor 8-PSK; consideraciones de ancho de banda con 8-PSK; receptor 8-PSK. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM); ocho QAM; transmisor

8-QAM; consideraciones de ancho de banda con 8-QAM; receptor 8-QAM. Recuperación de portadora; lazo cuadrático, lazo de Costas; remodulador. Recuperación de reloj. Problemas.

### **BOLILLA 7: Modulación Spread-Spectrum.**

Introducción. Secuencias de pseudo ruido (PN); propiedades; selección de una secuencia de longitud máxima. Espectro expandido; modelo idealizado; transmisor, canal y receptor; interferencia aditiva; sincronización. Espectro expandido de secuencia directa (DSSS), con BPSK coherente (DS/BPSK); sincronización; ganancia de procesamiento. Espectro expandido de salto de frecuencia (FHSS); salto de frecuencia lento (SFH); salto de frecuencia rápido (FFH). Formas de onda interferente. Multiplexación por división de código (CDM). Problemas.

### **BOLILLA 8: Medios No Guiados. Espectro Radioeléctrico. Propagación. Pérdidas. Diversidad. Antenas**

Conceptos prácticos de propagación; ecuaciones fundamentales; polarización; absorción; reflexión, difracción y dispersión; pérdidas y atenuación en el espacio libre; radios de Fresnel; interferencias; desvanecimientos de las señales. Conceptos de diversidad en enlaces inalámbricos. Tipos y características de antenas; patrones de radiación.

### **BOLILLA 9: Enlaces Inalámbricos Punto a Punto. Cálculos**

Tipos y características de enlaces inalámbricos punto a punto. Radioenlaces; equipos y accesorios de estaciones radioeléctricas; repetidores; sistemas de protección. Parámetros y cálculos de presupuesto de enlace; atribución de bandas. Software libre para cálculos de enlace. Enlaces satelitales; tipos de órbitas; leyes fundamentales; azimut y ángulo de elevación; satélites GEO, MEO y LEO; tipos y patrones de radiación de antenas satelitales. Parámetros y cálculos de presupuesto de enlace.

### **BOLILLA 10: Enlaces Inalámbricos Punto Multi-Punto**

Tipos y características de enlaces inalámbricos punto multi-punto; topologías, problemas de nodos y atribución de bandas; WPAN, WLAN, WMAN, WAN, IoT; principales protocolos, tipos de modulaciones y tendencias. Familia de Protocolos IEEE 802.x

## **VII - Plan de Trabajos Prácticos**

Los trabajos prácticos propuestos son nueve (9) en total, según el siguiente detalle:

- Ocho (8) Trabajos prácticos con contenidos destinados a la resolución de problemas y simulación de los mismos en software matemáticos, conjuntamente con una auto-evaluación, a través de cuestionarios contextuales. Estos prácticos se corresponden con el contenido de las bolillas II, III, IV, V, VI, VII VIII y IX.
- Un (1) trabajo práctico con contenidos que involucran simulaciones y mediciones físicas, conjuntamente con una auto-evaluación a través de cuestionarios contextuales, de la bolilla IV.

## **VIII - Regimen de Aprobación**

Para obtener la regularidad y poder rendir el examen final como alumno regular será necesario:

- Haber aprobado el 100% de los Trabajos Prácticos. Con más de 6 puntos cada uno.
- Haber aprobado la totalidad de los exámenes parciales. Con más de 7 puntos cada uno.

### **PARCIALES**

Se tomarán Dos (2) exámenes parciales Teórico – Prácticos; cada uno con Dos (2) Recuperaciones. Se deberán haber aprobado cada uno, en la primera instancia o en alguna de las instancias de recuperación, con más de 7 puntos.

### **TRABAJOS PRÁCTICOS**

Para la aprobación de cada uno de los Trabajos Prácticos será necesario:

- a. Presentar el trabajo previo al práctico, en caso que éste lo requiera.
- b. Haber aprobado un breve cuestionario, previo al desarrollo de cada Trabajo Práctico (responder correctamente un mínimo de 2 preguntas sobre un total de 3 preguntas). Esta es condición para poder desarrollar el Trabajo Práctico.
- c. Haber realizado cada Trabajo Práctico satisfactoriamente.
- d. Aprobar el informe, ya sea de resolución de problemas como de laboratorio.

Cada Trabajo Práctico podrá ser recuperado una sola vez pero el total de recuperaciones no podrá exceder de 3 (tres), caso contrario el alumno quedará libre.

## IX - Bibliografía Básica

- [1] Communication Systems – Simon Haykin – 4° Ed. – 2000 – Editorial John Wiley & Sons.
- [2] Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos – León W. Couch, II – 7° Edición – Ed. Pearson Prentice Hall. Año 2008.
- [3] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas – Wayne Tomasi – 4° Edición – Editorial Prentice Hall. Año 2003.
- [4] Apuntes de la Cátedra.

## X - Bibliografía Complementaria

- [1] Communication Systems – Simon Haykin – 3° Edition – Editorial John Wiley & Sons. Año 1994.
- [2] Sistemas de Comunicación – Bruce Carlson – 2° Edición – Editorial McGraw-Hill.
- [3] Fundamentos de Comunicaciones Digitales - Kontorovich Mazover, Ramos Alarcón, Parra Michel - 1° Edición - Editorial Limusa. Año 2009.
- [4] Digital Communications – John G. Proakis – 4° Edition – Editorial McGraw Hill.
- [5] Señales y sistemas – A.V. Oppenheim y A.S. Willsky – 2° Edición – Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. Año 1994.
- [6] Comunicaciones: Comunicación digital y Ruido – Enrique Herrera Pérez – Editorial LIMUSA. Año 2002.
- [7] Sistemas de Comunicaciones – Marcos Faundez Zanuy – Editorial MARCOMBO. Año 2001.
- [8] Recomendaciones de la Unión Internacional de telecomunicaciones (UIT)

## XI - Resumen de Objetivos

El principal objetivo del curso es que el futuro ingeniero, en la especialidad Electrónica con orientación en Sistemas Digitales, aprenda los conceptos básicos de la teoría de las comunicaciones, desarrolle experiencias prácticas y de simulación, resuelva problemas habituales en la especialidad y se interiorice de los principios que rigen a los actuales sistemas de comunicaciones.

## XII - Resumen del Programa

### BOLILLA I: Introducción a la Teoría de las Comunicaciones

Sistema de comunicación; componentes. Fuentes de información. Canales de comunicaciones. Señales banda-base y pasa-banda. Modulación. Recursos primarios en comunicaciones. Comunicaciones analógicas vs. digitales. Redes.

### BOLILLA II: Análisis Espectral. Representación de Señales y Sistemas

Análisis y transformada de Fourier. Teorema de la energía de Rayleigh. Relación inversa tiempo – frecuencia. Función delta de Dirac. Transformada de Hilbert.

### BOLILLA III: Procesos y Señales Aleatorias. Ruido (Principios básicos)

Teoría de la probabilidad. Variables aleatorias; distribución acumulativa y densidad de probabilidad. Promedios estadísticos. Momentos. Procesos aleatorios, estacionarios y ergódicos. Función media, correlación y covariancia. Densidad espectral de potencia. Procesos Gaussianos. Ruido térmico y de fluctuación. Ruido blanco. Figura de ruido. Temperatura equivalente de ruido.

### BOLILLA IV: Modulación y Demodulación Analógica

AM; DSB-SC; VSB; SSB. Multiplexación FDM. Modulación angular. PM. FM. PLL. Efectos no lineales en sistemas FM. Ruido en sistemas de modulación CW.

### BOLILLA V: Modulación y Demodulación Digital

Teorema de muestreo. PAM. PDM. PPM. Balance ancho de banda – ruido. Cuantización; ruido de cuantización. PCM; Ley A y Ley u. Ruido en sistemas PCM. Multiplexación TDM; sistemas T1 y E1. Multiplexación digital. PCM de modulación delta y de modulación delta adaptativa. DPCM.

### BOLILLA VI: Transmisión Digital en Banda-Base

Transmisión de pulsos; interferencia inter-símbolos; diafonía. Patrones de ojos. Filtros acoplados. Tasa de error debido al ruido. Criterio de Nyquist. DSL. Diafonía NEXT y FEXT. Códigos de línea para DSL. ADSL; modulación DTM. Síntesis de familia de xDSL.

#### BOLILLA VII: Transmisión Digital en Pasa-Banda

Radio digital. OOK. FSK; Tasa de bits FSK y baudios; CP-FSK; MSK. BPSK; codificación M-ária. QPSK; OQPSK; Pi/4 QPSK. 8-PSK. 16-PSK. QAM; 8-QAM; 16-QAM. GMSK. Eficiencia de ancho de banda. Recuperación de portadora. DPSK; DBPSK. Recuperación de reloj. OFDM. Probabilidad de error y BER; errores en PSK, QAM y FSK. Codificación trellis.

#### BOLILLA VIII: Modulación Spread-Spectrum

Secuencias de pseudo ruido (PN). Espectro expandido; modelo idealizado. DSSS, con BPSK coherente (DS/BPSK). FHSS con manipulación por desplazamiento de frecuencia M-ario (FH/MFSK). Formas de onda interferentes. Multiplexación CDM. CDMA.

BOLILLA IX: Teoría de la Información y Codificación Incertidumbre, información y entropía. Teorema de codificación de fuente. Compactación de datos. Canales discretos sin memoria. Información mutua. Capacidad de canal. Teorema de codificación de canal. Teorema de capacidad de información. Teoría de la distorsión de tasa. Compresión de datos. Codificación de control de errores. Códigos de bloque lineal, cíclicos, convolucionales, turbo e irregulares.

### **XIII - Imprevistos**

Para el presente período de dictado (primer cuatrimestre de 2022), se prevé el dictado presencial de clases teóricas, prácticas y evaluaciones parciales. En caso de cambios en la situación epidemiológica, se adaptara el dictado a las recomendaciones oficiales.

### **XIV - Otros**