



PROPUESTA PARA EL DICTADO DE ASIGNATURA ELECTIVA (2018-2021)

DENOMINACION DE LA ASIGNATURA: Fundamentos de Acústica y Electroacústica			
CARRERA EN LA QUE SE ASIENTA: Ingeniería Electrónica			
AREA DE CONOCIMIENTO: Electrónica-Acústica			
BLOQUE: Tecnologías Aplicadas			
Nivel	Cuatrimestre	Código	Hs. semanales
6 ^{to}	11		6

Correlatividades:

Para cursar:

Cursada: Electrónica Aplicada II - Técnicas Digitales III - Medidas Electrónicas II

Aprobadas: Electrónica Aplicada I - Medidas Electrónicas I - Teoría de Circuitos II.

Para rendir:

Aprobadas: Electrónica Aplicada II - Técnicas Digitales III - Medidas Electrónicas II

Fundamentación de las correlativas escogidas: El cursado de esta asignatura requiere que el alumno aplique conceptos de teoría de circuitos (vistos en las asignaturas Teoría de Circuitos I y II), para analizar y diseñar redes electroacústicas, calcular funciones de transferencia de diversos transductores, filtros, procesadores y sistemas electroacústicos complejos. Por otra parte, resulta indispensable que el alumno pueda analizar y diseñar circuitos electrónicos analógicos básicos de pequeña y gran señal como amplificadores de audiofrecuencias realimentados, filtros analógicos implementados con amplificadores operacionales, amplificadores de instrumentación, circuitos de lazo de enganche de fase, fuentes de alimentaciones lineales y en modo conmutado (conceptos vistos en las asignaturas Electrónica Aplicada II), para poder analizar el principio de funcionamiento de diversos procesadores de audio analógicos como amplificadores de audio en modo conmutado, ecualizadores gráficos y paramétricos, compresores/limitadores, expansores, compuertas, enriquecedores aurales, retardadores, reverberadores, mezcladores, registradores analógicos de sonido, entre otros, con el fin de poder diseñarlos e integrarlos en sistemas electroacústicos para diferentes aplicaciones.

Además, se requiere de un fluido manejo de métodos y técnicas de medición electrónicas para poder medir diversos parámetros de transductores, procesadores de señal y sistemas acústicos como relación señal-ruido, piso de ruido, ruido equivalente a la entrada, factor de amortiguamiento, rango dinámico, distorsión armónica total, distorsión por intermodulación, respuesta de frecuencia y respuesta temporal, entre otros: realizar el análisis dinámico de dispositivos y sistemas acústicos en el dominio del tiempo y la frecuencia utilizando osciloscopios, analizadores de frecuencia y analizadores de Fourier respectivamente; realizar análisis de correlación cruzada, autocorrelación y coherencia de señales (siendo los conceptos anteriormente mencionados, desarrollados en las asignaturas Medidas Electrónicas I y II); con el objetivo de poder profundizar conceptos sobre métodos y técnicas de medición electroacústicas para medir: nivel de presión sonora, niveles de intensidad sonora, niveles de velocidad de las partículas, nivel de aceleración, nivel sonoro continuo equivalente, nivel de potencia sonora, diafonía, diagramas de directividad, factor de directividad, manejo de potencia de un altavoz, parámetros Thiele –Small, respuesta impulsiva, función de transferencia y calibración de sistemas electroacústicos, entre otros.



Finalmente, se requieren conceptos de adquisición digital de datos y procesamiento digital de señales como muestreo, cuantificación, codificación, filtro antialias, sobremuestreo, ecuaciones de diferencias, filtros de respuesta impulsiva finita (FIR) e infinita (IIR), convolución en el dominio del tiempo de señales, correlación cruzada y autocorrelación de señales digitales, análisis de frecuencia mediante transformada rápida de Fourier, FFT (siendo los conceptos anteriormente mencionados vistos en la asignatura Técnicas digitales III), con el fin de poder profundizar conceptos en temas específicos de adquisición y procesamiento digital de señales acústicas (para infrasonido, audiofrecuencias y ultrasonido), análisis y diseño de procesadores digitales de audio, codificación y decodificación de audio con y sin pérdidas, métodos digitales de reducción de ruido, redes de retardo realimentadas, registro digital de sonido, simulación acústica computacional, auralización y sistemas de realidad acústica virtual, entre otros.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS QUE JUSTIFIQUEN LA INCLUSION DE LA ASIGNATURA:

La creciente demanda de ingenieros electrónicos con orientación en acústica en la Provincia de Córdoba y en la región centro del país para desempeñarse en empresas automotrices/autopartistas (como FIAT, RENAULT, IVECO, VOLKSWAGEN, MWM, CIBIE-VALEO, MWM), aeroespaciales (CONAE, INVAP, VENG), aeronáuticas (FAdeA), entre otras, realizando tareas de diseño, análisis, desarrollo e implementación de sistemas electrónicos aplicados al control de procesos, detección de fallas, mantenimiento predictivo, técnicas de medición, procesamiento digital de señales y evaluación de dispositivos de diversos sistemas electroacústicos, fundamenta la necesidad de contar con una asignatura que le permita al alumno aplicar los conceptos vistos durante la carrera para el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas en diferentes áreas de la acústica. El objetivo general de la asignatura es transferir al alumno conocimientos generales y específicos de acústica y electroacústica, integrándolos con aquellos conceptos vistos durante la carrera en varias materias afines (Electrónica Aplicada II, Teoría de Circuitos II, Medidas Electrónicas II, Electrónica de Potencia, Técnicas Digitales III, Sistema de Control, Análisis de Señales y Sistemas, entre otras) con el fin de que el alumno pueda diseñar, analizar, simular y desarrollar nuevas tecnologías, métodos y técnicas aplicadas en diversas áreas de la acústica. Son objetivos específicos de la asignatura: a) formar a los alumnos mediante actividades teórico-prácticas en temas específicos de electroacústica, métodos y técnicas de medición en acústica, acústica de recintos, percepción sonora y acústica física; b) coadyuvar en la realización de Proyectos Finales de la carrera en diversas aplicaciones de acústica y electroacústica; c) continuar con la organización y desarrollo de las *Jornadas de Acústica* (JOSAC), con el objeto de generar un espacio de interacción entre investigadores, docentes, profesionales y estudiantes (de ingeniería y otras carreras relacionadas) con el fin de difundir y analizar avances científicos y tecnológicos de diferentes campos de la acústica, articulando de esta manera ciencia, docencia y empresa; d) transferir el conocimiento científico-tecnológico producido en el Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), de la FRC UTN, hacia los alumnos de la cátedra a través de actividades prácticas en el laboratorio de acústica del CINTRA, conferencias y seminarios de capacitación y la realización de Prácticas Profesionales Supervisadas (PPS). Finalmente, cabe destacar que los conocimientos adquiridos le permitirán al alumno por un lado, iniciarse profesionalmente como ingeniero electrónico con orientación en acústica y por el otro, iniciar estudios de posgrado en esta disciplina en diferentes universidades del país e insertarse en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, realizando investigación, desarrollo e innovación científico-tecnológica.



MODALIDAD DEL DICTADO

Estrategia Metodológica: La asignatura esta organizada en dos partes. En la primera, se desarrollan conceptos básicos sobre acústica física, fisiología de la audición, fonación, percepción sonora y acústica de recintos. En la segunda parte, se estudia en profundidad los componentes que intervienen en los sistemas electroacústicos, tales como micrófonos, altavoces, acelerómetros, cajas acústicas, amplificadores, filtros y procesadores de audio, entre otros, poniendo énfasis en el diseño e implementación electrónica. Se dan pautas para diseñar y calibrar sistemas electroacústicos para diferentes finalidades en espacios cerrados o abiertos. Finalmente, se introducen métodos y técnicas de medición en acústica, específicas al tema de la materia.

EVALUACION

Criterios de evaluación:

Evaluación continua durante el curso mediante el uso de instrumentos de evaluación parciales. Evaluación final mediante examen integrador.

CONTENIDOS

UNIDAD 1. LA CIENCIA ACÚSTICA: ¿Qué es la acústica? Áreas de la acústica. La interdisciplina. Definición y ejemplos. Algunos hitos en la historia de la acústica. La acústica como ciencia interdisciplinaria. Rueda de Lindsay.

Duración: 0,5 semana

UNIDAD 2. ACÚSTICA FÍSICA: ¿Qué es el sonido?. Aspectos conmensurables del sonido: presión sonora instantánea; presión sonora eficaz; velocidad de propagación en diferentes medios; velocidad instantánea de las partículas; impedancia acústica; impedancia característica; intensidad sonora; potencia sonora. Concepto de onda. Tipos de onda. Parámetros de una onda. Amplitud. Periodo. Frecuencia. Longitud de onda. Envoltura. Ecuación de onda acústica. Ecuación de Helmholtz. Onda plana, cilíndrica y esférica. Frente de onda. Factores que afectan la propagación del sonido. Dependencia de la temperatura, la humedad y el viento. Ley inversa de los cuadrados de la distancia. Efecto del terreno. Campos sonoros: campo cercano, lejano, directo y reverberante. Aplicación del teorema de Fourier a señales acústicas. Definición de la transformada de Fourier. Concepto de la transformada rápida de Fourier (FFT). Ejemplo de análisis espectrales de señales acústicas: espectros armónicos, inarmónicos y continuos. Clasificación de las señales acústicas en el dominio del tiempo y la frecuencia. Señales estacionarias. Señales determinísticas y aleatorias. Señales periódicas y cuasi-periódicas. Señales no estacionarias. Señales continuas y transitorias. Fuente sonora. Características. Potencia de una fuente sonora. Directividad de una fuente sonora. Niveles, Bel, decibel, Nepper. Nivel de presión sonora. Nivel de intensidad sonora. Nivel de potencia sonora o potencia acústica. Nivel sonoro continuo equivalente. Nivel de velocidad de las partículas. Suma y resta de niveles sonoros.

Duración: 1,5 semana

UNIDAD 3. FONACIÓN, AUDICIÓN Y PERCEPCIÓN DEL SONIDO: Introducción. Anatomía descriptiva del oído. El oído externo. El oído medio. El oído interno. La cóclea, el órgano de Córti, el nervio auditivo y la corteza cerebral. Física y fisiología de la audición. Sonidos audibles, infrasonidos y ultrasonidos. La voz y el sistema de fonación humano. Características del mensaje oral. Directividad y espectro de



la voz humana. Inteligibilidad de la palabra. Percepción del sonido en función de la intensidad sonora o sonoridad. Mínimas diferencias perceptibles. Umbral de audibilidad. Percepción del sonido en función de la frecuencia. Altura tonal. Relación entre la altura y frecuencia. Curvas isofónicas de Fletcher & Munson. El Fon. Nivel de sonoridad. El Son. El Mel. Timbre. Bandas críticas. Aspectos perceptuales de la audición binaural: localización de fuentes sonoras; Diferencias perceptuales entre reverberación y eco. Sensaciones de direccionalidad y espacialidad. Otros fenómenos perceptuales complejos: efecto Doppler; efecto de precedencia (efecto Hass) y efecto de enmascaramiento (enmascaramiento por tonos y por bandas de ruido). Patologías básicas del sistema auditivo. Efectos clínicos auditivos y no auditivos. Efectos no clínicos. Efectos del ruido sobre el hombre.

Duración: 1,5 semana

UNIDAD 4. ACÚSTICA DE RECINTOS: Introducción a la acústica de recintos. Propagación del sonido en recintos cerrados. Teoría estadística. Reverberación. Tiempo de reverberación. Cálculo del tiempo de reverberación utilizando la ecuación de Sabine y de Norris-Eyring. Libre camino medio. Régimen de decrecimiento. Teoría geométrica. Reflexión especular y difusa. Reflexiones tempranas y tardías. Ecos. Eco flotante. Ecograma o reflectograma. Teoría ondulatoria. Modos normales de resonancia. Modos axiales, tangenciales y oblicuos. Cálculos de modos de resonancia en recintos rectangulares. Ecuación de Rayleigh. Criterios de distribución de modos de resonancia. - Relación entre los parámetros acústicos objetivos de una sala y su correlación con la calidad. Valoración de la reverberación. Cálculo de la inteligibilidad de la palabra. Tiempos de reverberación óptimos. Criterios de ruido de fondo. Curvas NC (Noise Criteria). Aislamiento, absorción y difusión sonora. Ley de masas. Características físicas de materiales aislantes y absorbentes sonoros. Elementos acústicos: absorbedores, reflectores, resonadores y difusores sonoros. Diseño acústico de recintos. Criterios generales de diseño para: auditorios, salas de concierto, estudios de grabación musical, salas de usos múltiples, salas de reproducción cinematográfica, oficinas y recintos industriales. Auralización. Aplicación en el diseño acústico de recintos. Método por convolución de señales. Método por redes digitales de reverberación.

Duración: 1,5 semana

UNIDAD 5. ELECTROACÚSTICA: Introducción a la electroacústica. Características de señales y sistemas acústicos. Rango o margen dinámico. Nivel medio. Factor de cresta. Banda de frecuencias y espectros. Nivel espectral. Ruidos e interferencias. Ruido blanco. Ruido rosa. Distorsión: lineal, no lineal y transitoria. Tolerancia para las distorsiones. Distorsión armónica total (THD). Distorsión por intermodulación (IMD). Transductores: micrófonos y altavoces. Método de analogías electromecánicas. Sistemas mecánicos. Sistemas acústicos.

Duración: 0,5 semana

UNIDAD 6. MICRÓFONOS: Introducción. Sensibilidad estándar, respeto al campo acústico libre y al difuso. Impedancia. Respuesta en frecuencia. Descriptores de la directividad: diagrama de directividad, índice de directividad (DI). Nivel de ruidos de fondo. Distorsión. Clasificación según principio de transformación electromecánica: Electrodinámicos: de bobina móvil y de cinta; Electroestáticos: de condensador y de electreto; Electromagnéticos: unilaterales y diferenciales; De cristal: piezoeléctricos; De tipo relé: de Carbón y a Transistores. Características acústicas de los micrófonos: Receptor de presión. Receptor de gradiente de presión (simétrico y asimétrico). Receptor combinado o mixto. Receptores agrupados: lineales y tubulares.



Duración: 1,5 semana

UNIDAD 7. FUENTES SONORAS ARTIFICIALES Y NATURALES:

7.1 Altavoces y Cajas Acústicas: Introducción. Impedancia de radiación. Clasificación según su respuesta en frecuencia. Altavoces dinámicos de bobina móvil (radiación directa). Elementos constructivos. Circuito equivalente. Parámetros físicos del altavoz. Parámetros Thiele-Small. Rendimiento de potencia disponible de referencia. Presión sonora producida a la distancia r . Centro operativo de trabajo. Rendimiento de máxima potencia disponible (PAE). Sensibilidad. Impedancia de entrada. Frecuencia de resonancia. Comportamiento del diafragma. Unidad motriz de cono dividido y múltiple. Características direccionales. Respuesta transitoria. Altavoces de radiación de bocina o excitadores de compresión. Elementos constructivos. Circuito equivalente. Rendimiento de potencia disponible de referencia. Respuesta en frecuencia. Frecuencia de resonancia. Guías de Onda (Bocinas). Descripción general. Bocinas exponenciales, cónicas, parabólicas e hiperbólicas. Codos en las bocinas. Materiales. Altavoces planos. Altavoces electrostáticos de condensador y de electroto. Altavoz de modos distribuidos (DML). Altavoz de cinta. Construcción. Funcionamiento. Respuesta en frecuencia. Aplicación. Altavoz piezoeléctrico y neumático: Elementos constructivos. Funcionamiento. Respuesta en frecuencia. Aplicación. Evolución histórica de las cajas acústicas. Sistema altavoz-recinto. Características generales del altoparlante sin y con sonodector. Clasificación: caja infinita, caja abierta, caja cerrada, caja de radiador pasivo, sistema de paso banda, línea de transmisión acústica. Radiador simple y doble. Materiales utilizados. Absorción interna. Caja con bocina exponencial. Bocinas plegadas. Cajas acústicas activas y pasivas. Filtro divisor de frecuencia pasivo y activo de 2, 3 y 4 vías (crossover). Aplicación de DSP en cajas acústicas activas.

7.2 Auriculares: Auriculares. Definición. Sensibilidad. Eficiencia. Impedancia de entrada. Distorsión armónica. Clasificación: electromagnéticos, electrodinámicos y electrostáticos. Auriculares normalizados para uso audiométrico. Auriculares de inserción.

7.3 Instrumentos Musicales: Instrumentos musicales acústicos. Instrumentos de cuerda. Instrumentos de viento. Instrumento de percusión. Instrumentos musicales electrónicos. Osciladores. Moduladores. Control de envolventes. Sintetizadores. Controladores. Interconexión MIDI (Musical Instruments Digital Interface)

Duración: 2 semanas

UNIDAD 8. PROCESADORES DE AUDIO: Pre-amplificadores analógicos y digitales. Consola de mezcla analógica y digital. Funciones específicas. Diagrama de bloques. Conexiones de inserción, envíos, retornos. Conexión auxiliar (aux-send, aux-return). Equalizadores. Subgrupos. Fuente fantasma. Margen de sobre carga (headroom). Procesadores dinámicos. Amplificadores de potencia. Clases utilizadas en audio. Ecuadores gráficos, semi-paramétricos y paramétricos. Compresores y limitadores. Compuertas y expansores. Procesadores dinámicos digitales basados en DSP. Procesadores de efectos. Efectos en serie y paralelo. Retardos. Ecos. Reverberadores. Coro (Chorus). Flanger. Wah-wah. Phaser. Distorsionador. Resaltador (Enhancers). Transpositor de altura. Formatos de grabación de audio analógico y digital. Cinta magnética. Discos analógicos. Discos compactos. Otros formatos de discos compactos: HDCD, SACD, DVD-audio, Mini Disc. Cintas digitales: DAT, ADAT, DCC. Registro del sonido monofónico, estereofónico y multicanal, monoaural y binaural. Sistemas Dolby. Sistemas DTS.

Duración: 2 semanas



UNIDAD 9. SISTEMAS DE SONIDO PARA ESPACIOS CERRADOS Y ABIERTOS: Sonorización. Refuerzo sonoro y megafonía. Características principales de sistemas de sonorización: niveles máximo y mínimo del campo acústico. Inteligibilidad del mensaje sonoro. Criterio de la relación señal/ruido y de la fidelidad espectral de la reproducción de la fuente. Distancia acústica equivalente (EAD). Ganancia Acústica (AG). Potencia eléctrica necesaria. Sistemas de refuerzo sonoro. Irregularidad de sonorización y de característica de frecuencia. Ruidos acústicos. Localización de la fuente sonora (coherencia audio vs. imagen). Métodos de recubrimiento: centralizado (concentrado), descentralizado (zonal) y distribuido. Alineación temporal y equalización del sistema de sonido. Influencia de los factores climatológicos y condiciones atmosféricas en espacios abiertos. Influencia de la reverberación y eco en espacios cerrados. Control del campo sonoro utilizando técnicas electroacústicas. Sistemas de refuerzo sonoro de alta fidelidad. Sistemas de altavoces de 2, 3 y 4 vías. Sistemas de bocinas múltiples. Arreglos lineales de altavoces (line arrays). Interacción acústica entre sistemas. Efecto filtro peine (comb filter effect). Calibración de sistemas de múltiples vías. Distribución de sonido en megafonía: distribución en baja impedancia, distribución en alta impedancia.

Duración: 2,5 semanas

UNIDAD 10. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN EN ACÚSTICA: Introducción a las mediciones acústicas. Mediciones de laboratorio y de campo Instrumentos utilizados en mediciones acústicas. Medidor de nivel de presión sonora. Calibrador acústico de referencia. Dosímetro. Analizador de espectro. Medidor de nivel de intensidad sonora (analizador de espectro de doble canal con sonda de intensidad). Medidor de Vibraciones. Acelerómetros. Oído artificial. Mastoide artificial. Cámara anecoica, semianecoica y reverberante. Estación meteorológica (termómetro, higrómetro, barómetro y anemómetro). Generador de funciones. Generador de ruido. Osciloscopio. - Medición del nivel de presión sonora. Filtros de ponderación A, B, C, y D. Medición de nivel sonoro continuo equivalente, Percentiles. Medición del nivel de intensidad sonora. Medición de parámetros acústicos de recintos según norma IRAM 4109. Medición del aislamiento sonoro según norma ISO 140. Medición de la absorción sonora según norma ISO 354. Medición de parámetros de altavoces. Medición de parámetros Thiele-Small.

Duración: 1,5 semanas

BIBLIOGRAFÍA (Consignar solo aquella que este disponible en biblioteca. De lo contrario señalar que está faltando para gestionar su compra):

Bibliografía disponible en biblioteca central, FRC:

- 1.-Recuero López, Manuel, *Ingeniería acústica*, Editorial Parafino. España. 2000
- 2.-Recuero López, Manuel, *Acondicionamiento acústico*, Editorial Parafino. España. 2001
- 3.-Recuero López, Manuel, *Acústica arquitectónica aplicada*, Editorial Parafino. España. 1999
- 4.-Bernal Bermúdez, Jesús; Bobadilla Sancho, Jesús; Gómez Vilda, Pedro, *Reconocimiento de voz y fonética acústica*, Editorial Alfaomega, Ra-ma, México, 1º Edición, 2000.



- 5.-Cuenca David, Ignasi; Gómez Juan, Eduard, *Tecnología básica del sonido 1*, Editorial Thomson-Paraninfo, Madrid, 5º Edición 2000.
- 6.-Savioli, Carlos U., *Acústica práctica*, Librería Editorial Alsina, Buenos Aires, 1º Edición. 1992
- 7.-Philips;FAPESA, *Sistemas de sonido : construcción de amplificadores transistorizados y cajas acústicas de Hi-Fi*, Editorial Edicient, Buenos Aires, 1º Edición 1973
- 8.-Moeller, Franz y Fricke, Hans, *Electrotecnia general y aplicada : Tomo IV, 1ª Pte.: Técnica de las comunicaciones eléctricas*, Editorial Labor, 1º Edición, Barcelona, 1968
- 9.-Ramil Moral, Juan José, *La escuela del radiotécnico: Megafonía y Electroacústica*. Editorial Labor. Barcelona. 1949

Se solicita comprar:

- 1-Pueo, Basilio y Romá, Miguel, *Electroacústica, altavoces y micrófonos*”, Editorial Person Educación S.A., Madrid, 2003 ISBN:84-205-3906-6
- 2-Miyara, Federico. *Acústica y Sistemas de Sonido*. Editorial: UNR Editora, 3º Edición 2006.
- 3-Carrion Isbert, Antoni, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Editorial: Alfaomega S.A. Mexico, 2001. ISBN 970-15-0453-4
- 4-Davis, D. y Patronis E Jr.. *Sound System Engineering*, 3th Edition, Editorial: Focal Press – Elseiver Inc., 2006.
- 5-Miyara, Federico. *Mediciones acústicas basadas en software*. Asociación de acústicos Argentinos (AdAA). ISBN 978-987-24713-2-3, Buenos Aires, 2013