

1) Nombre de la asignatura: **Sistemas Lineales 2**

2) Créditos: **13**

3) Objetivos de la asignatura:

**Generales:**

En líneas generales se busca

- dotar al estudiante de las herramientas básicas para el modelado y el análisis de sistemas lineales en régimen transitorio, con especial énfasis en los circuitos lineales una entrada-una salida;
- vincular la formación básica en física y matemática con los fundamentos de la Ingeniería Eléctrica, particularmente a través de la Transformada de Laplace;
- introducir los conceptos fundamentales de la Teoría de Circuitos. Teoremas de Thévenin y Norton, función de transferencia;
- desarrollar la capacidad de modelado y análisis de circuitos electrónicos con amplificadores operacionales;
- presentar el concepto de estabilidad de un sistema lineal una entrada-una salida, las herramientas clásicas de análisis de estabilidad de sistemas realimentados (criterio de Nyquist) y alcanzar un manejo fluido de estos conceptos y herramientas;
- introducir al modelado y análisis de líneas de transmisión;
- transmitir que la matemática y la física brindan un soporte básico a las distintas áreas de la ingeniería eléctrica, reconociendo la interacción entre la formalidad matemática y la resolución práctica de problemas de ingeniería.

**Objetivos específicos de la ganancia de curso:**

Se pretende que al aprobar el curso de la asignatura el estudiante sea capaz de:

- definir la transformada de Laplace para funciones y enunciar sus propiedades básicas;
- resolver ecuaciones diferenciales lineales con la transformada de Laplace;
- analizar la respuesta transitoria de un circuito en el dominio de Laplace;
- comprender y aplicar los conceptos básicos de teoría de circuitos: componentes en Laplace, datos previos, balances energéticos;
- comprender y aplicar los principios fundamentales de la teoría de circuitos: principio de superposición, teoremas de Thévenin y Norton;
- comprender el funcionamiento de los circuitos resonantes básicos;
- modelar correctamente los elementos no lineales elementales: diodos, comparadores, etc;
- aplicar correctamente los modelos de elementos no lineales en el análisis de un circuito;
- describir el modelo ideal del amplificador operacional;
- aplicar el modelo ideal del amplificador operacional en el análisis de circuitos;
- describir las configuraciones básicas del amplificador operacional ideal;
- aplicar las configuraciones básicas del amplificador operacional ideal en el análisis de circuitos;
- describir generalidades, justificación y efectos de la realimentación sobre la respuesta de un sistema lineal y un circuito;
- describir el concepto y la definición de estabilidad de un sistema lineal una entrada-una salida;
- enunciar y aplicar los teoremas básicos de análisis de estabilidad;
- enunciar el criterio de Nyquist y aplicarlo a un ejemplo sencillo;
- sacar conclusiones sobre la respuesta temporal de un sistema a partir de un análisis en el dominio de la frecuencia;

- describir el concepto y definición de cuadripolo;
- describir cualitativamente los fenómenos presentes en una línea de transmisión, no capaces de ser explicados mediante un modelo de parámetros concentrados.

La lista precedente no debe entenderse como una enumeración exhaustiva.

#### **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 las propiedades básicas de la transformada de Laplace mediante la aplicación de la definición;
- describir cualitativamente la relación entre la respuesta temporal de un circuito y la posición de los polos de la transferencia;
- describir el tratamiento formal de la transformada de Laplace en distribuciones;
- analizar un circuito no trivial con la ayuda de los principios básicos de Teoría de Circuitos;
- calcular la respuesta periódica de un circuito lineal a tramos;
- analizar la respuesta transitoria de un circuito no trivial que incluya elementos no lineales;
- describir precisamente los conceptos y las definiciones de estabilidad BIBO e interna de un sistema lineal;
- enunciar y demostrar los teoremas básicos de análisis de estabilidad;
- analizar la estabilidad de un sistema realimentado en el dominio de la frecuencia mediante el empleo conjunto de los diagramas de Bode y Nyquist;
- calcular la ganancia en lazo abierto de un circuito electrónico realimentado;
- describir los índices clásicos de estabilidad (margen de fase y ganancia);
- describir los diferentes modelos de cuadripolos, sus propiedades e interconexión;
- modelar y analizar la respuesta en régimen de una línea de transmisión.

La lista precedente no debe entenderse como una enumeración exhaustiva.

4) Metodología de Enseñanza: En la edición 2016 se trabajará con dos modalidades de enseñanza, alternativas: la convencional y la activa.

Modalidad convencional: Se dictarán semanalmente dos clases teóricas de dos horas y una clase de ejercicios de dos horas. Habrá consultas y un foro virtual de discusión.

Modalidad activa: Dos clases semanales teóricas de dos horas, ya filmadas en video, y un aula teórico-práctica TP de tres horas.

Se basa en tres pilares:

estudio previo de teórico (bibliografía indicada, apuntes, videos),

trabajo grupal e individual en aula TP con entregables,

trabajo fuera de aula posterior.

Control de asistencia: mínimo 80%.

El aula TP comienza con un cuestionario individual sobre los contenidos que se debieron estudiar previo al aula, sesión colectiva de consultas, trabajo en equipo sobre ejercicios teórico/prácticos que se van a ir planteando, entregables grupales con fecha de entrega y devolución.

La idea base es que la postura activa para aprender, el trabajo en equipo, y el acompañamiento docente acorde constituyen un abordaje mucho más eficiente y estimulante para el aprendizaje.

#### 5) Temario:

Se indica el temario y una estimación de las horas de clases teóricas asociadas.

### 1) Transformada de Laplace.

11 horas

Definición en funciones. Abscisa de convergencia absoluta. Transformadas de exponencial, seno, coseno, líneas hiperbólicas, escalón. Traslación de la función. Traslación de la variable  $s$ . Ejemplos. Teorema de derivación. Integración. Teoremas de valor inicial y final. Transformada de una función periódica. Onda cuadrada, pulso de senoide, onda rectificadora simple y doble. Resolución de ecuaciones diferenciales por Laplace. Transformada de distribuciones. Distribuciones temperables en  $D^+$ . Transformada del impulso y sus derivadas. Laplace y convolución. Vinculación de las transformadas de Fourier y Laplace. Inversión de Laplace. Cálculo por residuos. Fracciones simples. Raíces simples reales y complejas. Raíces múltiples. Definición de sistema. Causalidad, equivalencia, ejemplos. Descripción de sistemas en el espacio de estados. Vinculación entre las diferentes descripciones de sistemas.

### 2) Circuitos en el dominio de Laplace.

6 horas

Planteo axiomático y vinculación con leyes de Maxwell. Fuentes independientes y dependientes, llaves. Componentes elementales en Laplace. Datos previos y condiciones iniciales. Mutua. Transformador ideal, perfecto y simple. Sus relaciones. Energía disipada y almacenada. Componentes pasivas. Balances energéticos. Calificación y clasificación de circuitos. Funciones driving point y transferencias.

### 3) Teoremas de circuitos. Amplificadores operacionales

8 horas

Principio de superposición. Teoremas de Thévenin y Norton. Definiciones, demostración, aplicaciones, generalizaciones. Teorema de Miller, enunciado y demostración. Amplificadores operacionales. Análisis del amplificador operacional como bloque de circuito. Modelo ideal. Configuraciones básicas. Funcionamiento lineal y no lineal. Circuitos resonantes. Interpretación energética. Factor de calidad, curvas de resonancia.

### 4) Realimentación y estabilidad.

16 horas

Estabilidad BIBO: definición, ejemplos, condición necesaria y suficiente en el tiempo y en Laplace. Estabilidad interna: definición, ejemplos, vinculación con estabilidad BIBO. Respuesta de régimen a una excitación periódica. Realimentación, efectos sobre: estabilización del sistema, sensibilidad a variaciones paramétricas, distorsión, impedancia de entrada y salida. Sistemas de control en lazo abierto y realimentados. Ejemplos. Estabilidad de sistemas realimentados. criterio de Nyquist, diagrama de Nyquist. Relación Nyquist - Bode. Demostración y aplicaciones. Margen de fase y ganancia.

### 5) Cuadripolos.

4 horas

Definición. Parámetros  $y$ ,  $z$ , constantes generales, híbridos. Reciprocidad y simetría (definición). Cuadripolos equivalentes. Circuitos T,  $\Pi$ . Interconexión de cuadripolos: cascada, paralelo, serie. Condiciones de validez. La T puenteada. Impedancias iterativas e imagen. Impedancia característica.

### 6) Líneas de Transmisión.

5 horas

Ecuaciones diferenciales de las líneas, soluciones estacionarias. Impedancia característica, coeficiente de reflexión, adaptación de impedancia. Aproximaciones de bajas pérdidas. Transformadores de cuarta y media longitud de onda. Stubs. Líneas como elementos de circuito.

### 6) Bibliografía:

"Sistemas Lineales II", Juan Piquinela;

Notas de apoyo al curso;

"Métodos matemáticos para las ciencias físicas", L. Schwartz. ISBN: 100486466620

(recomendado para el tema 1 del programa);

"Análisis de Circuitos en Ingeniería" - Hayt & Kimmerly, ISBN:970-10-6107-1

(recomendado para los temas 2,3 del programa);

"Circuitos", B. Carlson. ISBN: 109706860339;

"Electrical Network Theory", N. Balabanian, J. McPeck. 1969. ISBN: 10898745810;

"Linear Network Analysis", Seschu, Balabanian,  
(recomendado para los temas 2,3 del programa);

"Análisis Básico de Circuitos Eléctricos", Johnson, Hilburn, Johnson, Scott. Prentice-Hall, 1996. ISBN 968-880-638-2;

"Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales", Coughlin y Driscoll, Prentice-Hall; ISBN: 968-880-284-0

### 7) Conocimientos previos exigidos y recomendados:

Teoría de distribuciones. Teoría básica de circuitos en régimen sinusoidal. Respuesta en frecuencia. Diagramas de Bode, propiedades generales de las funciones de variable compleja.

## ANEXO

### Cronograma:

1) Transformada de Laplace.	11 horas
2) Circuitos en el dominio de Laplace.	6 horas
3) Teoremas de circuitos. Amplificadores operacionales	8 horas
4) Realimentación y estabilidad.	16 horas
5) Cuadripolos.	4 horas
6) Líneas de Transmisión.	5 horas

### Evaluación:

Se realizarán dos pruebas parciales durante el semestre (cada una 50 puntos, total 100).

De acuerdo a los resultados, el estudiante podrá

- a) exonerar el examen escrito, debiendo rendir examen oral para aprobar la asignatura;
- b) ganar el curso, debiendo rendir un examen escrito y oral para aprobar la asignatura;
- c) reprobar el curso.

Cada ejercicio de los parciales tendrá una doble puntuación de acuerdo a su contribución a cada categoría de objetivos (objetivos C de la ganancia de curso y objetivos A de la asignatura).

Al menos 10 puntos de cada parcial consistirán en ejercicios del práctico o del teórico.

Al menos 25 puntos de cada parcial aportarán a los objetivos C de la ganancia de curso.

A. Para ganar el curso, se deberá demostrar suficiencia en los objetivos específicos de la ganancia del curso. Esto es: 25 puntos C.

B. Para exonerar, se deberá haber ganado el curso (condición A) y se deberá demostrar suficiencia respecto de los objetivos de la asignatura. Esto último es: 60 puntos A.

El examen constará de una parte escrita de sesgo práctico y un oral de sesgo teórico.

La edición 2016 del curso se evaluará mediante dos modalidades. La modalidad convencional, ya descrita, y la modalidad activa, en fase de prueba en 2016.

Los estudiantes que opten por el modo activo tendrán, además, algunas entregas individuales y grupales que aportarán hasta 10 puntos ( 5 puntos C para el curso y 10 A para la asignatura) que se suman a los de los parciales. Por lo tanto el puntaje total para estos estudiantes podrá llegar a ser 110.

**Materia:** Fundamentos de Ingeniería Eléctrica (carrera de Ingeniería Eléctrica)

**Previaturas:**

Para Ingeniería Eléctrica:

Para cursar Sistemas Lineales 2 se exigirán los cursos de:

Electromagnetismo,

Ecuaciones Diferenciales,

Sistemas Lineales 1,

Funciones de Variable Compleja y

100 créditos en el Grupo de Materias de Ciencias Básicas.

Para el examen de Sistemas Lineales 2 sólo se exigirá el curso de Sistemas Lineales 2.

**Cupo modo activo:** 20 estudiantes en total

**Método de selección:**

- 10 cupos (cupos 1) a asignar por sorteo para estudiantes que declaren que por motivos de fuerza mayor tienen impedimentos para asistir normalmente a la modalidad convencional.
- El resto de los cupos, hasta completar 20, se resolverá por sorteo entre los estudiantes inscriptos al modo activo y no hayan sido admitidos en el cupo 1.

Un estudiante que haya sido admitido en la modalidad activa y luego desiste de esta ( por ejemplo por inasistencias) simplemente perderá su aspiración a los puntos adicionales, sin perjuicio alguno de los resultados de los parciales.

APROB. RES. CONSEJO DE FAC. ING.

de fecha 04/10/2016 Ep. 060180-001103-12