

## **Análisis de Señales y Sistemas**

### **Análisis de la asignatura**

Profesora: Ing. Patricia N. Baldini  
Jefe de Trabajos Prácticos Ing. Damián Banfi  
Descriptor de Conocimiento: Señales y Sistemas  
Área: Tecnología básicas  
Nivel: 2<sup>do</sup> año.  
Carga horaria presencial: 6 hs/sem

### **Consideraciones Generales y Articulación Curricular**

La asignatura Análisis de Señales y Sistemas pertenece al área de Teoría de Circuitos y representa el pilar que sustenta conceptual y metodológicamente a todas las materias del área. Se dicta en el segundo año de la carrera de Ingeniería Electrónica, previo a Teoría de Circuitos I, con la que debe estar perfectamente coordinada ya que provee los fundamentos y las herramientas matemáticas básicas para el modelado de circuitos eléctricos, facilitando su abordaje y brindando el marco teórico de las herramientas para su análisis.

Se orienta al desarrollo de las habilidades para el planteo, interpretación, modelado y resolución de problemas de ingeniería, y aporta habilidades para iniciarse en el diseño e implementación de circuitos y sistemas electrónicos (competencias específicas, 1.2 y 1.3 libro rojo del CONFEDI) mediante las tareas formativas desarrolladas: resolución de problemas tipo específicos, los laboratorios sobre señales, muestreo y aliasing y principalmente con la resolución de los problemas anticipativos de aplicación de resolución grupal orientados a Circuitos, Antenas y Comunicaciones y Control. Esto contempla también el desarrollo de habilidades interpersonales y argumentativas.

La asignatura introduce a los/as alumno/as en la comprensión y aplicación de las técnicas de caracterización y análisis de señales y sistemas determinísticos, de naturaleza tanto continua como discreta. Esta visión compartida permite la observación permanente de las analogías y diferencias de los conceptos asociados al tratamiento de señales en todos los casos. Las señales son modeladas por funciones de unas o más variables que representan las características o comportamiento dinámico de algún proceso físico o son utilizadas para transmitir información. Los sistemas, por su parte, se presentan como dispositivos que se encargan de transformar las señales de entrada produciendo otras señales con algún comportamiento diferente de modo premeditado o natural, en base al modelo de caja negra.

Luego de introducir los conceptos de señales y sistemas, sus características y propiedades y la terminología asociada, se plantea el modelo matemático entrada-salida en el dominio temporal de sistemas lineales e invariantes en el tiempo (LIT) tanto mediante ecuaciones

diferenciales o en diferencias como a través de la noción de respuesta al impulso. Se muestra cómo la respuesta al impulso caracteriza completamente a todo sistema LIT, empleando la integral o suma de convolución para la determinación de su respuesta a distintas entradas convencionales. Se recurre a animaciones y simulaciones para aumentar la internalización de este concepto que suele resultar de difícil comprensión.

Se remarcan, a lo largo de toda la materia, las formas alternativas de modelar matemáticamente a los sistemas LIT, con sus particularidades y ámbitos de aplicación. Se aclara que este tipo de sistemas son ampliamente usados ya que presentan propiedades muy particulares que facilitan su estudio y representan buenas aproximaciones locales de los sistemas reales en la mayoría de los casos. Se estudian las diferentes interconexiones de sistemas y sus equivalentes desde el punto de vista entrada-salida.

La complejidad de la metodología temporal permite justificar la introducción de técnicas más poderosas en el dominio de la variable compleja. Se comienza así con la introducción de los conceptos fundamentales del cálculo de variable compleja, que se constituirán en las herramientas básicas para el desarrollo de nuevos modelos matemáticos y de técnicas asociadas para el tratamiento analítico de los sistemas LIT.

Se remarca la idea de que la matemática no es un fin en sí misma sino una herramienta que debe permitir sacar conclusiones sobre el problema que se desea resolver con su especificidad asociada. De todos modos se trabaja sobre las fundamentaciones como medio de validar y determinar condiciones de aplicación de estas herramientas.

Partiendo de los conocimientos previos desarrollados en Análisis I y II, se pone el énfasis en la idea de continuidad, existencia de derivada y analiticidad, reforzando el concepto de singularidades de las funciones de variable compleja (FVC). La interpretación de las FVC como transformaciones o mapeos conformes posibilita establecer las relaciones entre los dominios de la variable  $s$  de la transformada de Laplace y de la variable  $z$  asociada a la transformada  $Z$ , facilita el entendimiento del uso de la aproximación bilineal en el estudio de la respuesta en frecuencia de sistemas muestreados, de la Carta de Smith en líneas de transmisión o de transformaciones entre diferentes tipos de filtros. El cálculo de integrales de línea y la introducción de la serie de Laurent conducen al concepto de residuo, de importancia esencial para el análisis de Laplace y de Fourier. El estudio de series complejas y los distintos tipos de convergencia posibilitan la comprensión de los fundamentos de la serie de Fourier y el fenómeno de Gibbs, como así también las ideas asociadas a la definición de la transformada  $Z$ .

Se introduce luego la representación matemática alternativa de señales y sistemas en el dominio frecuencial, repasando los conceptos de la expansión en serie de funciones ortogonales en general, tanto en el dominio analógico como en el discreto para arribar al desarrollo en profundidad de la teoría de Fourier, una de las metodologías más potentes para el análisis de señales y sistemas, tanto en el caso de excitaciones periódicas como no periódicas, orientado a la aplicación en Procesamiento de Señales y en las materias Teoría de Circuitos II y Sistemas de Comunicaciones. Se hace hincapié en la noción de Respuesta en Frecuencia con su doble interpretación temporal y frecuencial y se conceptualizan las ideas de filtrado y multiplexado por división de frecuencia. Se presenta la modulación de un tren de

periódico impulsos para concluir con el teorema del muestreo.

Se generaliza la transformada de Fourier a la de Laplace como un mecanismo para el estudio de la dinámica temporal de sistemas lineales modelados en el dominio del tiempo mediante ecuaciones diferenciales ordinarias o ecuaciones de estado, con aplicaciones que anticipan las temáticas de Sistemas de Control.

Para el caso de tiempo discreto se introduce el análisis de Fourier de secuencias temporales, periódicas y arbitrarias, remarcando similitudes y diferencias con el caso continuo. Se considera el caso particular de señales analógicas muestreadas representadas mediante el modelo basado en la modulación de impulsos. La teoría del muestreo ideal será el vínculo que ayudará a relacionar ambos dominios. Se concluye el tema considerando el caso de secuencias de longitud finita mediante la idea del uso de ventanas temporales para arribar a la transformada de Fourier discreta. Se incluyen las nociones de cambio en la velocidad de muestreo y sus consecuencias sobre el espectro de frecuencias, posibles solapamientos y necesidad de filtros antialiasing.

Para el análisis temporal de los sistemas discretos y la solución de las ecuaciones en diferencias se desarrolla la transformada Z y sus propiedades. Se presenta el caso particular de las señales muestreadas señalando la relación con la transformada de Laplace mediante la correspondencia entre el plano de la variable  $s$  y el de la variable  $z$  a través de la transformación exponencial y su relación con el teorema del muestreo.

### Objetivos

#### *Objetivos generales.*

- Comprender la teoría de sistemas como un enfoque que permite el estudio unificado de dispositivos o procesos de muy diversa índole.
- Modelar las señales mediante funciones de unas o más variables que contienen la información de características o comportamiento dinámico de algún proceso físico.
- Modelar los sistemas como dispositivos que se encargan de transformar las señales de entrada produciendo otras que pueden ser modificadas respondiendo a especificaciones preestablecidas.
- Identificar y relacionar las diferentes formas de caracterizar a los sistemas LIT en los dominios de representación temporal y frecuencial o complejo.
- Fundamentar y desarrollar habilidades en el manejo de metodologías y herramientas matemáticas para el tratamiento determinístico de señales y sistemas de tiempo continuo y discreto, tanto en el campo temporal como frecuencial, evitando el reduccionismo del aprendizaje sistemático de técnicas operacionales.
- Utilizar software específico para simular comportamiento dinámico de sistemas apoyados en la representación en Diagrama de Bloques.
- Trabajar con diversas fuentes documentales (problemas, guía de estudio, libro de texto,

bibliografía asociada, animaciones y simulaciones virtuales) y demostrar capacidad de autogestión de su proceso de aprendizaje.

- Desarrollar habilidades de comunicación y argumentación oral y escrita con formato técnico- científico.
- Desarrollar la habilidad de relacionarse dentro o fuera del aula adoptando una participación grupal activa en diferentes roles.

*Objetivos específicos.*

- Desarrollar la habilidad en la interpretación y utilización del cálculo de FVC como base para justificar las metodologías para caracterizar y analizar sistemas tanto en el dominio temporal como frecuencial.
- Construir un conocimiento general básico sobre la teoría de señales, generando capacidad para representar, manipular y realizar transformaciones sobre diferentes tipos de señales.
- Fomentar la formación de los criterios empíricos que permiten relacionar de modo intuitivo características de la respuesta en frecuencias con comportamiento temporal.
- Desarrollar la capacidad de análisis y síntesis para resolver ejercicios y tener un criterio claro para escoger las mejores alternativas para su resolución.
- Contextualizar los conceptos teóricos expuestos en la asignatura mediante su aplicación a problemas de mayor complejidad y simulaciones prácticas que se presentarán a lo largo del curso.
- Establecer relaciones entre señales de tiempo continuo y su versión discreta, en tiempo y frecuencia mediante la noción de muestreo ideal.
- Comprender la importancia y las limitaciones del uso de modelos lineales e invariantes en el tiempo para representar a los sistemas.
- Relacionar las distintas formas de caracterizar los sistemas lineales invariantes en el tiempo obtenidas a partir del uso de Transformadas Complejas, de Laplace y Zeta, con la dinámica temporal.
- Poder distinguir las posibles fuentes de error que se introducen en el cálculo del espectro de una señal de tiempo continuo debido al proceso de muestreo y el uso de ventanas simples y la transformada de Fourier Discreta.
- Interpretar la discretización de sistemas y el muestreo de señales de tiempo continuo con la transformación exponencial y mediante ésta reinterpretar el Teorema del muestreo.
- Conocer las ventajas y las limitaciones del procesado digital de señales las fuentes de error en la estimación del espectro de las señales.

Para alcanzar estos objetivos se diversifican las actividades formativas y de evaluación.

## **Contenidos Específicos**

- Introducción a las Señales y Sistemas: señales de tiempo continuo y discreto. Transformaciones de la variable independiente. Simetrías. Señales periódicas. Energía y potencia media. Funciones impulso, escalón y rampa. Sistemas. Propiedades: linealidad, causalidad, memoria, invarianza en el tiempo. Sistemas lineales invariantes en el tiempo. Convolución. Respuesta al impulso. Condiciones de estabilidad y causalidad.
- Plano de la variable compleja y representación analítica de regiones. Funciones de variable compleja y sus propiedades. Nociones de límite, continuidad y derivada. Introducción del concepto de analiticidad y criterio de determinación. Mapeo conforme. Integrales de línea y métodos de cálculo. Serie de potencias: series de funciones, casos de series de Taylor y de Laurent. Singularidades y su clasificación. Residuos y sus aplicaciones.
- Serie de Fourier y Transformada de Fourier: Serie de Fourier; diversas formas de expresión. Espectro de frecuencias. Nociones de análisis y síntesis de una señal. Propiedades. Respuesta en frecuencia y aplicación a la resolución de sistemas lineales con excitaciones periódicas.
- Integral de Fourier; propiedades. Energía y potencia de señales; densidades espectrales de energía y de potencia. Relación de Parseval. Nociones de filtrado ideal. Filtros selectivos en frecuencia. Funciones transferencias de filtros digitales. Señales de Datos Discretos y de Datos Muestreados. Muestreador ideal y muestreador real. Teorema del muestreo. Modulación y Multiplexado por división de frecuencias.
- Transformada de Laplace: Transformada y anti-transformada de Laplace. Propiedades. Integral de convolución. Resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias. Función Transferencia. Fracciones parciales. Estabilidad en el dominio complejo. Diagramas en bloque. Sistemas realimentados. Ecuaciones de estado.
- Desarrollo en serie de Fourier de señales discretas periódicas. Transformada de Fourier en tiempo discreto y sus propiedades. Convolución periódica. Transformada de Fourier de tiempo finito. Interpretación del efecto sobre el espectro del uso de ventanas temporales. Transformada de Fourier Discreta. Caso de señales muestreadas y de secuencias finitas modeladas mediante la modulación de un tren periódico de impulsos. Aliasing. Filtro de reconstrucción ideal. Submuestreo y sobremuestreo: efectos sobre el espectro de frecuencias.
- Transformada Z: Transformada y propiedades. Métodos de anti-transformar. Relación con la transformada de Laplace y de Fourier. Resolución de Ecuaciones a diferencias finitas y ecuaciones de estado. Filtros IIR y FIR. Estabilidad de sistemas discretos representados por su función transferencia. Reinterpretación del teorema del muestreo.

## **Aspectos tenidos en cuenta en el proceso formativo y de evaluación**

El conocimiento se puede caracterizar de diferentes formas. Una que se considera adecuada en la formación profesional surge de considerar el denominado conocimiento experto que integra conocimientos procedimentales, conceptuales y condicionales.

El conocimiento conceptual puede describirse como aquel que desarrolla una base de comprensión teórica y de modelos dentro de una disciplina, que ayuda a los estudiantes a entender una amplia gama de problemas.

El conocimiento procedimental describe cómo realizar de forma lógica y justificada las tareas físicas y mentales en la disciplina de estudio.

El conocimiento condicional consiste en reconocer las condiciones bajo las cuales se aplican determinados conceptos y procedimientos. Cuando se usa conocimiento condicional, se regulan y dirigen los conocimientos conceptual y procedimental. Ayuda al pensamiento crítico y a la resolución de problemas a un nivel superior. No solo se tienen en cuenta conceptos y procedimientos, sino que también se comprenden las condiciones bajo las cuales aplicar ese conocimiento, por lo que se relaciona con el conocimiento experto.

En base a esta clasificación se estructura un sistema de evaluaciones continuo y flexible que pretende identificar los avances de los estudiantes en cada uno de estos aspectos.

### *Aspectos Básicos*

- Capacidad de abstracción para la utilización del formalismo del cálculo de variable compleja como medio de simplificación en el análisis de los sistemas lineales.
- Capacidad de planificación del trabajo individual de manera de asimilar los conceptos de la asignatura de manera progresiva y fluida durante el curso.
- Capacidad para encuadrar los problemas o ejercicios en el marco teórico que corresponda para fundamentar las técnicas o herramientas empleadas.
- Capacidad de argumentar de modo oral y escrito a favor de los procedimientos elegidos en la resolución de problemas simplificados orientados a la especialidad.
- Capacidad de síntesis de información, generalización de casos, interrelación de representaciones equivalentes
- Capacidad de entender y usar herramientas matemáticas como medio de modelar procesos físicos reales desde el aspecto particular y restringido que se desea analizar.

### *Aspectos Conceptuales- Procedimentales-Condicionales*

- Capacidad de asociar las propiedades de las funciones de variable compleja como el marco que valida conceptualmente las metodologías de análisis de señales y sistemas.
- Conocer y comprender los distintos entornos de trabajo y los modelos teóricos válidos en cada uno de ellos, para la representación de señales y sistemas lineales.
- Utilizar razonadamente las transformadas y dominios transformados para el estudio de sistemas.
- Habilidad para relacionar las características frecuenciales de sistemas lineales invariantes

en el tiempo, con su comportamiento temporal.

- Resolución gráfica de problemas mediante simulaciones con software adecuado y análisis fundamentado de los resultados apoyados en las actividades en laboratorio.
- Comprensión de las relaciones entre señales de tiempo continuo y discreto vinculadas por muestreo. Condiciones para que un muestreo sea válido, sus consecuencias sobre el espectro de frecuencias y sobre la reconstrucción de la señal.
- Entender las nociones de filtrado y sus efectos sobre el espectro de frecuencias y el comportamiento en tiempo de las señales.
- Aplicación de las transformaciones complejas como herramientas que se integren a diferentes áreas tecnológicas de conocimiento, respondiendo a la metodología de enseñanza contextualizada.

### Metodología.

Teniendo en claro que la asociación de la teoría de Funciones de Variable Compleja con la representación de fenómenos físicos o la resolución de problemas asociados a la electrónica no es intuitiva ni inmediata, resulta necesario inducir al alumno a descubrir la matemática como herramienta fundamental adecuadamente contextualizada en el marco de las diversas ramas de la electrónica, trasladando las estrategias resolutivas desde el contexto teórico al de las aplicaciones.

Por tal motivo se adopta el modelo expositivo dialogado e interactivo para las clases teóricas. Por otra parte, este modelo permite al docente una mayor posibilidad de incidir en la forma más conveniente de abordar los conceptos fundamentales de cada unidad temática, manejar los tiempos asignados a cada una y tener realimentación inmediata de la forma en que los alumnos están elaborando los conocimientos. Se pone especial énfasis en asociar cada tema con sus aplicaciones y se resuelven ejemplos con participación activa de alumnos fomentando el debate y el pensamiento crítico con la correspondiente fundamentación conceptual.

Se potencia al aula, presencial o eventualmente virtual, como un escenario de intercambio y de construcción dialógica, donde el profesor es un facilitador y guía de los aprendizajes, buscando que cada alumno conozca su propio estilo de aprendizaje y pueda adaptarlo y optimizarlo de acuerdo a los contenidos de trabajo y las exigencias de cada estrategia didáctica puesta en marcha en este ámbito.

Se establecen un intercambio fluido entre docentes y alumnos. Se contemplan tanto el modo presencial, mediante consultas pautadas, como virtual con comunicación asincrónica mediante foros del aula virtual y el uso de mail. También se incluyen, de ser necesario, la comunicación sincrónica a través del chat del Aula Virtual en la plataforma Moodle y de posibles videoconferencias mediante la plataforma Zoom.

Se trata de alcanzar un equilibrio entre la construcción del conocimiento matemático teórico-conceptual y un enfoque formativo acorde al perfil profesional específico. Se evita el planteo matemático netamente abstracto que solo hace uso de ejemplos de aplicación simplistas, poco

atractivos o realistas. De igual modo, busca evitar el reduccionismo en el accionar formativo fomentando exclusivamente competencias contextuales orientadas a las aplicaciones que conlleva el riesgo de proveer una serie de técnicas de uso algorítmico, procedimental y mecánico.

En las clases prácticas se trabaja sobre la resolución de ejercicios en base a una guía provista por la cátedra tratando de lograr el pensamiento autónomo e interviniendo solo para evitar que se afiancen los errores con el planteo de interrogantes que los conduzcan por sí mismos a una solución razonada. Se incentiva la interacción entre alumnos y se comparte los pro y los contra de los distintos medios empleados en las resoluciones poniendo de manifiesto el por qué de los errores. En todo caso se intenta evitar una disociación entre teoría y práctica recurriendo a la primera para sustentar a la segunda.

Las actividades formativas se diversifican propendiendo al desarrollo de diferentes habilidades de comunicación y trabajo grupal.

Se contempla presentaciones de trabajos grupales con distinto grado de complejidad: por un lado, problemas que incluyen simulaciones en ambiente Simulink para aclarar y fijar en mayor medida conceptos complejos que implican la resolución de problemas simplificados de aplicación a diferentes áreas de la electrónica. Estos trabajos deben ser resueltos y expuestos en clase una vez por cada grupo ya sea en forma presencial o mediante videoconferencia con asistencia del resto de los estudiantes. La presentación debe ser grabada y el video se integra a una biblioteca de aportes de los alumnos/as.

Por otra parte se incluyen, de ser factible, dos actividades integradoras de laboratorio con participación de todos los grupos, de tipo demostrativas-deductivas donde se presentan comportamientos de señales o sistemas específicos con simulaciones en ambiente Matlab, que deben ser interpretados y justificados en base a los conceptos teóricos y a investigaciones personales. Se concluyen con la presentación de un informe digital con los resultados obtenidos a presentar en el aula virtual. En estas experiencias los alumnos elaboran las nociones de Sistemas de comunicación o de control, Respuesta en Frecuencia, Muestreo y Aliasing, Espectros de Frecuencias y Filtrado.

Con las actividades formativas y de laboratorio desarrolladas se plantea una línea de pensamiento que transita hacia los conocimientos integrados que se materializa incluyendo propuestas interdisciplinarias dentro del ambiente de aprendizaje que despierten el interés de los alumnos. Estas actividades son diseñadas para el aprendizaje científico incluyendo procedimientos de tipo experimental (manejo de software y técnicas de simulación), intelectual (procesos de producción de conocimiento) y comunicativo (para el desarrollo de la competencia oral y escrita).

Se favorece el aprendizaje autónomo y participativo, fortaleciendo la habilidad para analizar y estructurar información, diseñar y defender decisiones tomadas en el proceso. Al vincular la formación matemática a la orientación, se mejora la articulación con materias posteriores, permitiendo desde los primeros años el desarrollo de habilidades fundamentales para un ingeniero.

### **Sistema De Evaluación**

Se concibe a la evaluación como un proceso complejo y multidimensional que, lejos de ser una simple actividad valorativa, constituye un elemento clave en la calidad de los aprendizajes, puesto que las decisiones que toman los estudiantes para gestionar sus estudios están condicionadas por las demandas de la evaluación a las que tienen que enfrentarse. Este proceso continuo, integral y participativo permite disponer de información relevante recolectada por diferentes medios o actividades planificadas.

No se trata sólo de promover el aprendizaje y comprobarlo en relación a lo que el estudiante sabe sobre un tema (saber y saber explicar cómo), sino que además, ha de ser capaz de justificar, aplicar, hacer, actuar, interpretar, interrelacionar en función y en relación a lo que sabe en diferentes contextos.

La evaluación es usada como una estrategia que permea el proceso de enseñanza y aprendizaje. Permite la reflexión y valoración de las acciones realizadas para determinar si los aprendizajes y las actitudes procedimentales previstas han sido logrados, en función del desempeño individual y grupal en las distintas actividades, como componente primordial; de los criterios con que se caracteriza a dicho desempeño y los productos del aprendizaje como evidencias.

Para el cursado de la materia el alumno debe aprobar cuatro instancias de evaluación sumativa parcial, de resolución de ejercicios sencillos en los que demuestren el criterio de selección y el manejo de las técnicas desarrolladas, la capacidad de análisis de resultados en el marco teórico adecuado y la capacidad de utilizar metodologías conocidas en nuevas situaciones. Se da la opción de recuperar cada uno de los parciales desaprobados en primera instancia. Estas evaluaciones pueden ser presenciales o mediante la plataforma Moodle, en la modalidad cuestionario aleatorio/ensayo, aleatorio y secuencial, con tiempo limitado y posibilidad de defensa oral.

De ser posible, se incluyen dos actividades grupales de formación profesional presenciales en laboratorio, sobre problemas integradores que incluyen simulaciones en ambiente Matlab, para comparar y verificar los resultados registrados en laboratorio. Finalizan con la elaboración posterior de conclusiones, que deben ser presentados mediante un informe con fechas límites de entrega. Los informes deben ser aprobados con la posibilidad de una re-entrega y permiten evaluar la capacidad de identificar datos relevantes, justificar criterios adoptados, sacar conclusiones pertinentes y expresarlas por escrito

Se realizan, además, evaluaciones formativas continuas a través de cuestionarios conceptuales presenciales o implementados en el aula virtual, al concluir cada una de las unidades principales de la materia.

Bajo esta modalidad de evaluación formativa, se contempla también la resolución grupal de trabajos de aplicación simplificados y autocontenidos, que incluyen simulaciones y anticipan aplicaciones. La exposición de uno de ellos por grupo, en clases o mediante videoconferencia, permite evaluar la calidad y claridad de la presentación, la diversidad de

medios empleados para mostrar los resultados y la organización grupal, siguiendo una rúbrica predeterminada. Las presentaciones virtuales son grabadas e incluidas en una biblioteca de material elaborado por los estudiantes en el aula virtual.

A handwritten signature in blue ink, reading "Baldini", with a large, sweeping underline that extends to the left and then curves back under the name.

Patricia N. Baldini  
Profesora Adjunta