

## 1.- Análisis de la asignatura

### 1.1- Encuadre académico y conceptual de la asignatura

Accionamientos y Controles Eléctricos es una asignatura regular anual del quinto nivel de la carrera de Ingeniería Eléctrica, que se incluye en la oferta de asignaturas de la carrera con el objeto de formar al egresado en aptitudes necesarias para su desenvolvimiento en el ámbito de la industria local, regional, nacional así como en el exterior.

A través del uso de una técnica devenida de la Física clásica, se propone el desarrollo de los saberes en este espacio mediante tres herramientas: modelos matemáticos basados en ecuaciones diferenciales, contraste de modelos con modernos toolboxes de Matlab/Simulink y finalmente una correcta medición y análisis con kits demostradores reales.

Para evidenciar la necesidad de desarrollo de herramientas, ideas y principalmente, el estrecho contacto entre las diferentes técnicas de control de accionamientos eléctricos en las diferentes áreas de la ingeniería, se presentan cinco proyectos/kits reales que resumen y exponen modelos clásicos de control:

- Modelado Lagrangiano y control de sistema péndulo+carga con PWM y motor DC
- Control de un motor DC mediante L298 y PWM+ARDUINO
- Control de motor AC+Variador de velocidad+ARDUINO
- Control de accionamientos usando PLC
- Control y puesta en marcha de un motor paso a paso con driverTB6600.

Estos sistemas no sólo representan modelos a escala de problemas reales, sino que también modelan y contemplan diversos sistemas que existen y pueden ser estudiados:

- Control de puentes grúa
- Control de máquinas eléctricas
- Control de vehículos y cargas mecánicas
- Sistemas de guiado de cohete y propulsores de satélites
- Diseño de vehículos eléctricos

Su amplio temario, se presenta en los siguientes ejes temáticos:

- Descripción de los sistemas electromecánicos interconectados como un sistema de control integral.-
- ➤ Modelos Matemáticos para sistemas electromecánicos: formalismo Lagrangiano.-
- ➤ Revisión de los modelos de las máquinas eléctricas desde un punto de vista de control no-lineal en variables de estado.-
- ➤ Repaso de métodos de control como el clásico PID.-



- ➤ Introducción al uso del PLC como una posible forma de implementar controles industriales.-
- ➤ Diseño de controladores avanzados: feedback linearization y control vectorial.-
- ➤ Arranques y frenados suaves. Análisis de algunos arranques suaves comerciales. Análisis e implementación de un arranque suave de CC y medición del momento de inercia usando banco dinamométrico.-
- ➤ Introducción al uso de Matlab/Simulink mediante sus nuevas herramientas como SimpowerSystems.-
- ➤ Análisis de los modelos matemáticos de las técnicas modernas de variación de velocidad de motores AC. PWM senoidal y su comparación con los variadores comerciales.-
- ➤ Introducción a los convertidores CC-CC y CC-CA. Estudio de hojas de datos de drivers comerciales y breve introducción al uso de DSP. Estudio de un artículo publicado sobre control óptimo de conversores CC-CA.-
- ➤ Análisis del motor CC sincrónico. Modelo matemático no-lineal y sus control. Introducción al uso de Feedback Linearization. Arranque de motores sincrónicos.-
- ➤ Introducción al control de motores paso a paso. Drivers comerciales. Control con puente H discreto y L298.-
- ➤ Construcciones y/o aplicaciones de máquinas eléctricas. Estudio de las nuevas tendencias en el control de máquinas.

Se trabajará sobre los principios, métodos y resultados básicos de los problemas, dando una clara percepción de cuál es el campo de acción de la matemática en la ingeniería, a saber:

- Modelado: traducir la información y los datos físicos o de otras áreas en forma de sistemas dinámicos modelados como ecuaciones diferenciales en variables de estado.
- Análisis de modelos/Simulación: mediante la aplicación de transformada de Laplace para aquellos modelos que resulten lineales o linealización en caso contrario, se estudiarán las propiedades y posibilidades de aplicación de cada modelo. Se hará uso de las diferentes herramientas informáticas: Matlab/Simulink, Wolframalpha, Tracker, Phet así como ARDUINO-.
- Interpretación: entendiendo el significado e implicancias de la solución matemática del problema en términos de la ingeniería, se podrá interpretar las mediciones y contraste con los modelos y simulaciones.

## 1.2- Objetivos de la materia

### Objetivo general

- Otorgar herramientas de modelado, estudio y diseño de sistemas de control aplicados al diseño y puesta en marcha de accionamientos eléctricos para los sistemas dinámicos presente en las actividades de la ingeniería.



Al finalizar el curso el estudiante deberá ser capaz de seleccionar el motor y sistema de mando y control correspondiente, así como sus parámetros de ajuste para los diversos mecanismos aplicables a la industria.

### Objetivos específicos

- Modelar un accionamiento eléctrico +carga mecánica utilizando el formulismo Lagrangiano y el modelo universal en variables de estado para su posterior estudio y diseño de controladores (estabilidad).
- Modelado en variables de estado de las diferentes máquinas eléctricas
- Estudio de controladores con PWM y técnicas de control no-lineal
- Estudio y puesta en marcha de variadores de velocidad de motores AC
- Estudio y puesta en marcha de drivers para motores paso a paso
- Puesta en marcha de arranques suaves
- Estudio y control de motores brushless
- Diseño de vehículos eléctricos
- Aplicar y diseñar correctamente un controlador/compensador para cumplir con requerimientos especificados a lazo cerrado
- Simular y contrastar adecuadamente los modelos teóricos utilizando Matlab/Simulink así como software industrial: Winsoftstarter.

### **1.3- Contenidos mínimos, Ordenanza 1026**

Los contenidos de la asignatura se dividen en 12 unidades temáticas:

#### Unidad 1: Accionamiento, mando y control. Definiciones.

Eje temático: Definiciones y estudio de sistemas de control aplicados a accionamientos eléctricos

1. Modelos de bloques de sistemas generales aplicados con máquinas eléctricas (accionamientos eléctricos)
2. Relación de los accionamientos con los sistemas de control

#### Unidad 2: Características mecánicas de máquinas eléctricas y mecanismos

Eje temático: estudio de sistemas mecánicos utilizando el formulismo Lagrangiano

1. Ecuaciones de la mecánica clásica en diferentes marcos coordenados
2. Formulismo Lagrangiano
3. Cargas mecánicas en variables de estado
4. Cargas mecánicas en el plano velocidad-torque

#### Unidad 3: Regímenes de funcionamiento de máquinas de CC y CA

Eje temático: Modelado y control de motores CC y CA en variables de estado



1. Modelos en variables de estado de los diferentes motores CC
2. Modelos en variables de estado de los diferentes motores CA

Unidad 4: Cálculo de tiempos de aceleración y desaceleración de accionamientos. Evolución de pares, velocidades y corrientes

Eje temático: Estudio dinámico de transitorios para arranques suaves.

1. Estudio de torques-velocidades dinámicas
2. Cálculo de arranques suaves de motores CC: redefinición de la dinámica velocidad-torque vía ecuaciones a diferencias
3. Determinación práctica de momentos de inercia utilizando linealización

Unidad 5: Regulación de velocidad, par y potencia. Aplicaciones.

Eje temático: diseño de controladores para control de velocidad y torque en motores CC y CA

1. Diseño de controladores en variables de estado para motores CC
2. Diseño de controladores en variables de estado para motores CA

Unidad 6: Variadores de velocidad de CC. Lazos de par y velocidad. Debilitamiento de campo

Eje temático: controladores para motores CC en lazo cerrado

1. Controladores (variadores de velocidad) de motores CC
2. Control de motores CC utilizando linealización, PWM y matrices de ganancia de lazo: control multivariable

Unidad 7: Variadores de velocidad de CA por variación de frecuencia. Lazos de par y velocidad.

Eje temático: controladores para motores CA

1. Controladores (variadores de velocidad) de motores CA
2. Control con PWM sinusoidal de motores CA

Unidad 8: Variación de velocidad de motores de CA por variación de tensión estática y conexión SCHERBIUS.

Eje temático: variadores de velocidad de motores CA existentes antes de la existencia de PWM sinusoidal

1. Variación de velocidad de motores CA con rotor bobinado

Unidad 9: Arranque y frenado mediante resistencias para motores de CC y CA rotor bobinado.



Eje temático: arranque y frenado de motores utilizando resistencia

1. Estudio dinámico de arranques suaves de motores CC
2. Análisis de corrientes de arranque de diferentes motores CC y CA

Unidad 10: Arranque de motores sincrónicos. Control de factor de potencia.

Eje temático: estudio de motores brushless en variables de estado

1. Estudio de modelos de motores brushless en variables de estado
2. Controladores comerciales de motores brushless

Unidad 11: Motores paso a paso. Tipos. Aplicaciones. Control y mando.

Eje temático: estudio de motores paso a paso, tipos y drivers

1. Tipos de motores paso a paso
2. Drivers de motores paso a paso
3. Drivers para ARDUINO y motores bipolares

Unidad 12: Construcciones y/o aplicaciones de máquinas eléctricas.

Eje temático: estudio y diseño de vehículos eléctricos

1. Diseño de vehículos eléctricos: tipos de baterías, potencias de motores, drivers y motores

#### **1.4- Relación de la asignatura con el Perfil de Egreso y las Actividades Reservadas al título de Ing. Mecánico**

En un todo de acuerdo con la Ordenanza 1026, el espacio curricular otorga herramientas para *“contar con ingenieros hábiles para operar tecnologías existentes, adaptadas a las necesidades locales y desarrollar procesos aptos para permitir la competencia internacional, realizar investigación y desarrollo, creando nuevas tecnologías y que a través de la formación de posgrado actualicen y refuercen sus conocimientos.”*

Por otra parte, y tomando como base la Resolución 1254/2018, la asignatura da herramientas elementales para la actividad reservada del Ingeniero Electricista *“Diseñar, calcular y proyectar sistemas de generación, transmisión, conversión, distribución y utilización de energía eléctrica; sistemas de control y automatización y sistemas de protección eléctrica. Proyectar, dirigir y controlar la construcción, operación y mantenimiento de lo anteriormente mencionado. Certificar el funcionamiento, condición de uso o estado de lo mencionado anteriormente. Proyectar y dirigir lo referido a la higiene y seguridad en su actividad profesional.”*



### **1.5- Relación y tributación de la asignatura a las Competencias Genéricas (CG)**

Se detallan a continuación las competencias genéricas de egreso a las que la asignatura tributa, en un todo de acuerdo con su plan de estudios y a las Actividades Reservadas del título de Ing. Electricista, Resolución ME 1254/2018.

En un todo de acuerdo con el Análisis de la asignatura, la cátedra desarrolla saberes para que tributen de manera directa a las siguientes competencias genéricas (CG):

#### **CG 1: *Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería***

- Utilizando las técnicas de formulación y modelado de accionamientos reales en variables de estado con ecuaciones diferenciales.

#### **CG 2: *Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería***

- Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería: mediante la modelización matemática de los fenómenos físicos que se estudian.

#### **CG 3: *Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería***

- Capacidad para planificar y observar el correcto desarrollo de proyectos de sistemas de control a baja, mediana y gran escala (potencia) utilizando las herramientas predictivas basadas en modelos y funciones de transferencia (puesta en marcha y control de accionamientos eléctricos).

#### **CG 4: *Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería***

- Mediante la asociación de problemas reales a modelos simplificados y sus posteriores soluciones de control: PWM y PWM sinusoidal, drivers, variadores y sistemas de control a lazo cerrado usando C++ o PLC.
- A través del uso de software específico que permita ahorrar tiempo a la vez que se proveen datos de verificación y contraste: Matlab/Simulink, WolframAlpha (Mathematica) y/o Maple, ARDUINO-IDE (C++) y WinSoftStarter.

#### **CG 5: *Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas.***

- Mediante la aplicación de las herramientas de la asignatura, se crean soluciones que deben ser implementadas de hardware real.

#### **CG 6: *Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo***

- Mediante la entrega de trabajos integradores obligatorios solicitados por la cátedra, bajo la consigna de conformar grupos de dos/tres estudiantes,



entregando un informe redactado bajo el formato (plantilla) aportado por la cátedra y aportando una defensa oral.

**CG 7: *Comunicarse con efectividad***

- Capacidad para producir e interpretar textos técnicos (memorias, informes, etc.) y presentaciones públicas: mediante la presentación de trabajos integradores aplicados a kits como modelos simplificados de sistemas reales, utilizando software específico y su respectivo informe.

**CG 8: *Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.***

- Analizando las consecuencias ambientales, sociales y económicas de las diferentes soluciones de control consideradas con las metodologías aportadas por la asignatura.

**CG 9: *Aprender en forma continua y autónoma.***

- Capacidad para lograr autonomía en el aprendizaje: a través de la búsqueda de bibliografía y material para el estudio, realizando ensayos y mediciones con equipos reales aportados por la por unidad temática.

**CG 10: *Actuar con espíritu emprendedor***

- A partir de las soluciones que deben encontrarse a los diferentes problemas propuestas por el espacio curricular, generando la necesidad de emprender nuevas soluciones innovadoras

**1.6- Relación y tributación de la asignatura a las Competencias Específicas de Egreso (CEE).**

La planificación y metodología propuesta para la materia permiten que los saberes del espacio curricular sirvan de medio, fundamento o relación próxima a las competencias específicas de egreso 1.1, 1.2, 2.2 y 2.3, en un todo de acuerdo con su plan de estudios y a las Actividades Reservadas del título de Ing. Electricista, Resolución ME 1254/2018.

**CEE 1.1: *Desarrollar y aplicar metodologías de proyecto, cálculo, diseño y planificación de sistemas, e instalaciones de generación, conversión, transmisión, distribución, supervisión, automatización, control, medición y utilización de energía eléctrica***

- Se tributa desde la fundamentación en la formulación matemática de fenómenos físicos que se necesiten para diseñar y/o desarrollar proyectos de sistemas de control y automatización.

**CEE 1.2: *Desarrollar, seleccionar y especificar, equipamientos, aparatos y componentes de los sistemas descriptos.***



- Se tributa desde el cálculo y la modelación posterior para su implementación tecnológica.

**CEE 2.2: Investigar sobre el desarrollo y aplicación de tecnologías emergentes relacionadas con la energía eléctrica**

- Se tributa desde la necesidad de obtener actualizaciones continuas de equipos y hardware que permita una mejor y más rápida implementación de las soluciones de control.

No se tributa al resto de las competencias específicas de egreso detalladas en la Resolución ME 1254/2018.

**1.7- Meta general de la asignatura, Objetos de Conocimiento y Resultados de Aprendizaje**

**Meta General de la asignatura**

“El alumno deberá ser capaz de determinar la respuesta en régimen permanente y transitorio de sistemas realimentados frente a entradas de referencia y perturbación o carga y diseñar los compensadores necesarios para su estabilización, aplicando la teoría del control clásico. Además deberá determinar la observabilidad y controlabilidad de sistemas físicos.”

**Objetos de Conocimiento de la asignatura y Resultados de Aprendizaje**

**MODELADO EN VARIABLES DE ESTADO**

- Resultado de aprendizaje

*Aplica las herramientas y técnicas de modelado para los diferentes sistemas físicos, determinando un conjunto de ecuaciones diferenciales que escribe en forma vectorial (variables de estado) para su posterior análisis y control, reconociendo su utilidad en el campo aplicación de la ingeniería.*

**FORMULISMO LAGRANGIANO**

- Resultado de aprendizaje

*Utiliza el formulismo Lagrangiano para formular modelos de máquinas eléctricas conectadas a cargas mecánicas como un modelo universal de accionamiento, reconociendo su importancia como herramienta práctica para la resolución de problemas de control en máquinas eléctricas.*



### *PWM y PWM SINUSOIDAL*

- Resultado de aprendizaje

*Utiliza la técnica de PWM para explicar, diseñar y controlar motores CC y CA. Utiliza los modelos y simulaciones en kits de laboratorio (sistemas simplificados) , calculando y diseñando un controladores adecuados.*

### *DISEÑO DE VEHICULOS ELECTRICOS*

- Resultado de aprendizaje

*Mediante el modelado de sistemas mecánicos, con diferentes tipos de motores: CC, CA; paso a paso y brushless, diseña y simula posibles aplicaciones de vehículos eléctricos: automóviles, motocicletas o incluso monopatines y robots.*

### *USO DE SOFTWARE ESPECIFICO*

- Resultado de aprendizaje

*Utiliza software profesionales como Matlab/Simulink, LT-Spic o WinSoftStarter para determinar la robustez de los diseños obtenidos así como su viabilidad e implementación posterior en C++ vía plataformas ARDUINO o PLC.*

### *Mediación Pedagógica*

#### **1.8- Metodología de trabajo**

*Exposición oral de la teoría con ayudas didácticas visuales y experimentos prácticos, para la presentación de conceptos.*

*Mediciones y ensayos sobre equipos didácticos.*

*Análisis de los resultados como una forma de afianzar los conceptos.*

Para todas los Objetos de Conocimiento la mediación pedagógica será a) entrega de trabajos integradores para cada modelo/ensayo/mediciones realizadas a resolver con Matlab/Simulink o utilizando el software online WolframAlpha, b) realización de mediciones en tiempo real usando osciloscopio para su análisis en y exportación de datos a Matlab y c) defensa oral de trabajos de integración con presentación de informes.

#### **1.9- Metodología de dictado**

La asignatura se orienta al manejo de ecuaciones diferenciales en general en variables de estado, así como un uso intensivo de Matlab/Simulink mediante el toolbox SimPowerSystems para el análisis de resultados y consecuencias de diseño.

Por otro lado, se promueve el contraste continuo entre teoría (modelos y herramientas matemáticas) con aplicaciones prácticas: mediciones y simulaciones, incentivando a las y los estudiantes a que adquieran habilidades para la manipulación de herramientas de cálculo avanzado e identifiquen el problema a tratar, su desarrollo teórico, su aplicación práctica y su posterior resolución computacional.



También se enfocarán los contenidos en las metodologías de aprendizaje centrado en el estudiante (ACE), en la formación por competencias (FxC) y en el uso intensivo del aprendizaje activo (AA).

En virtud de ello, la metodología de dictado consistirá en:

- Desarrollo de clases teórico – prácticas mediante exposición presencial ó virtual con el uso intensivo de AA.
- Aprendizaje basado en problemas.
- Mediciones y conclusiones, exportando datos de estudio a Matlab/Simulink.
- Resolución de casos prácticos reales: kits demostrativos y ejemplos.

Se proveerá a las y los estudiantes de guías de Trabajos Prácticos específicos para su resolución grupal y exposición, y también se promoverá el uso de software de ingeniería con procesadores de cálculo simbólico Matlab/Simulink, WolframAlpha/ Maple y LT-Spice que ayudará en la resolución de los problemas a abordar en la asignatura.

En lo que respecta a la enseñanza de saberes, se presenta el desagregado en *saberes conocer, saberes hacer y saberes ser*.

Saberes conocer: *Modelado de sistemas dinámicos y sistemas de control, teoremas de estabilidad: Routh-Hurwitz, Bode y Nyquist así como el método aproximado de lugar de raíces.*

Saberes hacer: *Planteo de modelos físicos y máquinas eléctricas en variables de estado, obtención de controladores lineales (matrices de ganancia) y no-lineales para control de accionamientos eléctricos.*

Saberes ser: *Respeto por la igualdad de género, participación en foros temáticos, cumplimiento de fechas de entrega de prácticos. Utilización del modelo de plantilla para la entrega de trabajos prácticos integradores.*

### **1.10- Condiciones para la aprobación de la asignatura**

La evaluación será del tipo integradora y se desagrega en 2 condiciones:

- Condiciones para la aprobación directa: será condición para la aprobación directa

- a) Entrega en tiempo y forma de los trabajos prácticos solicitados
- b) Correcta exposición y defensa de los informes entregados.

Quienes aprueben las instancias a) y b), estarán en condiciones de aprobación directa. Cada trabajo práctico integrador referente a cada modelo abordado, tendrá una instancia de recuperación luego de la fecha de entrega excedida. Los estudiantes que no aprueben la instancia de recuperación de algún trabajo integrador perderán el cursado de la materia.



- Condiciones para la aprobación indirecta: los estudiantes que aprueben la entrega de trabajos prácticos, pero con una nota inferior a 6 aunque superior a 4, tendrán derecho a la aprobación indirecta de la materia en un todo de acuerdo con lo estipulado en la Ordenanza 1549.

Los estudiantes que no alcancen los objetivos de aprobación directa ó indirecta, deberán recurrar la materia.

### **1.11- Integración y articulación de la asignatura con el área, el nivel y el diseño curricular**

De niveles anteriores, la asignatura necesita que las y los estudiantes ingresen a Accionamientos y Controles Eléctricos con las competencias de las asignaturas Análisis Matemático I y II, Fundamentos para el análisis de Señales y Álgebra y Geometría Analítica, Fundamentos de Informática, Física I y II, Termodinámica, Cálculo Numérico, Termodinámica, Máquinas Eléctricas I, electrotecnia I y II y Control Automático.

En ese sentido deberán tener competencias sobre los temas Transformada de Laplace, funciones de transferencia, modelos físicos de sistemas, respuestas transitorias de sistemas eléctricos y modelos de máquinas eléctricas, así como vectores, matrices y las herramientas derivadas del análisis matemático y los saberes propios de sistemas de control realimentado LTI.

En el mismo nivel se promoverá la articulación con Electrónica II (rectificadores polifásicos e inversores PWM), con Proyecto Final (aplicación de accionamientos a proyectos reales).

Hacia arriba articulará con asignaturas del tronco integrador, Análisis Matemático I y II, Fundamentos para el análisis de Señales y Álgebra y Geometría Analítica (modelos en variables de estado vectorial), Fundamentos de Informática (implementación en ARDUINO IDE y Matlab), Física I y II, Termodinámica, , Termodinámica, Máquinas Eléctricas I, electrotecnia I y II (modelado de sistemas físicos), Cálculo Numérico (métodos numéricos de resolución de ecuaciones diferenciales aplicado a modelos LTI y Control Automático (modelos en variables de estado, controladores-compensadores y controladores LTI).

### **2.- Programa analítico**

El programa analítico de la materia se entrega en documento aparte del presente.

### **3.- Evaluación diagnóstica**

El formulario de evaluación diagnóstica se entrega en documento aparte del presente, junto con el análisis de los resultados.

### **4.- Planificación de la asignatura**



4.1- Modalidad de dictado: anual

Horas semanales: 3.5/semana

4.2.- Calendario Cálculo Avanzado 2021

El cronograma (calendario) se entrega en documento aparte del presente.

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.