Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA			
Asignatura:	**Autómatas y Control Discreto**		
Profesor Titular:	**Ing. Gabriel Luis Julián**		
Carrera:	**Ingeniería en Mecatrónica**		
Año: 2021	**Semestre: 10°**	**Horas Semestre: 60**	**Horas Semana: 4**

OBJETIVOS

Autómatas y Control Discreto es una asignatura multidisciplinaria que tiene por objeto el estudio de la teoría y práctica de los *autómatas programables de control* (sistemas electrónicos digitales secuenciales comúnmente conocidos como *"Controladores Programables", "PLCs", "PACs"*), con aplicación específica al *control digital de sistemas dinámicos físicos continuos y/o discretos activados por eventos*; incluyendo modelado, análisis, diseño e implementación.

Para ello, como **objetivos** específicos se busca que los alumnos alcancen los siguientes logros:

- Aprender el control de estados discretos activados por eventos.
- Concebir, estructurar y elegir los elementos de sistemas de control para procesos industriales discretos.

CONTENIDOS

UNIDAD 1: INTRODUCCIÓN: AUTOMATISMOS Y CONTROL DISCRETO

Objetivo: Presentar el panorama general de aplicaciones, tecnologías y principios básicos involucrados en los automatismos industriales y control discreto.

A. **Introducción** y Motivación. **Automatismos** industriales: concepto y esquema general, componentes. Proceso o sistema físico a controlar, sus variables de interés (discretas y/o continuas). **Estructura** básica de un sistema automatizado. Control centralizado vs. control distribuido: arquitecturas de hardware y software (control y comunicaciones). **Aplicaciones** mecatrónicas: control automático secuencial o supervisor (estados discretos, activados por eventos) y control en tiempo discreto de lazo cerrado (estados continuos con datos muestreados) de procesos y maquinaria (ejemplos y casos de manipulación y movimiento de materiales, generación de energía, fabricación industrial, etc.).

B. **Fundamentos** y revisión de conceptos básicos. **Sistemas digitales secuenciales (estados discretos activados por eventos)**; eventos, señales discretas, distintos modos de operación. Modelado y representación mediante estados finitos: ecuación de estado y diagrama de transiciones de estado. **Autómatas** secuenciales o máquinas de estados finitos (FSM, Finite-State Machines); modelos o paradigmas de Moore y Mealy. Ejemplos de aplicación: modelado y simulación de autómatas finitos mediante Simulink / Stateflow.

C. Metodologías de descripción o especificación de comportamiento y diseño conceptual de sistemas digitales secuenciales (estados discretos activados por eventos). Representación mediante **GRAFCET** (según IEC 60848); estructura jerarquizada de GRAFCET. Generalización según IEC 61131-3: Diagrama Funcional Secuencial (**SFC**, Sequential Function Chart). Ejemplos de aplicación: modelado y simulación mediante entorno CODESYS o Step7: S7-Graph / PLCSIM (Siemens).

UNIDAD 2: AUTÓMATAS PROGRAMABLES – NORMA IEC 61131: ARQUITECTURAS Y LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Objetivo: Evaluar distintas configuraciones posibles de controladores programables y seleccionar la más adecuada para una aplicación. Conocer y utilizar lenguajes de programación normalizados. Implementar ejemplos simples de aplicación.

A. **Autómatas programables**. Funciones y **arquitecturas básicas**, evolución y estado actual; sistemas basados en procesador digital, compactos vs. modulares. Autómatas programables y tiempo real: ciclo básico de ejecución, tareas periódicas, tareas dependientes de eventos externos, inicialización. Entorno de los autómatas programables: sensores y actuadores, interfaces. Módulos básicos (DI/DO, AI/AO) y especializados (sensores DTR, comunicaciones, etc.). **Elección** de un autómata programable: objetivos de control y comunicación, especificación de requisitos. Criterios de selección. Ejemplos.

B. **Funciones de Seguridad** vs. Funciones de Control. Medidas de seguridad en los automatismos: circuito interno de vigilancia (watchdog); diagnóstico de fallas. Redundancia y protección de I/O. Dispositivos de seguridad externos: cadena de contactos de seguridad cableada externa. **Seguridad funcional** integrada. Norma IEC 61508.

C. **Entorno normalizado y Lenguajes de programación** (**IEC 61131-3**). Tipos de datos. Variables. Configuración, recursos y tareas. Unidades de organización de programa (POUs): programas, funciones y bloques funcionales. **Lenguajes**: literales (IL, lista de instrucciones; ST, texto estructurado) y gráficos (LD, esquema de contactos; FBD, diagrama de bloques de función; **SFC**, diagrama funcional secuencial (GRAFCET)). Breve revisión de lenguajes base LD, IL, FBD. Aspectos particulares del **lenguaje ST**: expresiones; sentencias de asignación; sentencias de invocación y retorno de funciones y bloques de función; sentencias de selección e iteración (estructuras de control de flujo de programa).

D. **Aplicaciones y prácticas** con autómatas a través de ejemplos simples de aplicación mediante entorno de desarrollo CODESYS o Step7: S7-Graph / PLCSIM (Siemens), incluyendo los siguientes aspectos: Creación de un proyecto de desarrollo para una aplicación. Configuración de hardware. Estructuración y codificación de software, declaración de tipos y variables; asignación de unidades de código a tareas en el recurso de hardware. Depuración, verificación y validación mediante análisis funcional, simulación y ensayos de laboratorio y/o de campo. Control de revisiones y mantenimiento de software.

UNIDAD 3: DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL SECUENCIAL CON AUTÓMATAS PROGRAMABLES

Objetivo: Aprender métodos sistemáticos de diseño, para programas de control discreto de mayor complejidad, utilizando entornos de desarrollo específicos para controladores programables.

A. **Métodos Clásicos:** Diseño de sistemas combinacionales de control. Diseño de sistemas secuenciales de control: método de emulación de biestables SR; método de emulación del diagrama de transición de estados finito.

B. **Métodos para sistemas de control secuencial complejos**: Diseño basado en la partición del algoritmo en fases. Diseño basado en el Diagrama Funcional Secuencial **SFC** (**GRAFCET**). Comparación entre ambos métodos.

C. **Aplicaciones y prácticas** a través de ejemplos de aplicación mediante entorno de desarrollo CODESYS o Step7: S7-Graph / PLCSIM (Siemens).

UNIDAD 4: COMUNICACIONES INDUSTRIALES: REDES Y PROTOCOLOS

Objetivo: Entender los requerimientos de comunicación en sistemas de automatización industrial y conocer distintas opciones de topologías, medios y protocolos más usuales.

A. **Arquitecturas distribuidas** de sistemas de automatización complejos, evolución: control centralizado con estaciones remotas de I/O vs. control descentralizado o distribuido. Necesidades de comunicación: conceptos y definiciones básicas.

B. **Redes digitales y buses de campo**. Modelo de capas OSI. Medio físico y topologías de red. **Protocolos industriales de comunicación**: tipos, ventajas, criterios de elección. Definición de los perfiles de comunicación.

C. **Protocolos industriales más usuales**: Modbus, CAN, Profibus, Ethernet industrial, Profinet. Características y aplicación.

UNIDAD 5: CONTROL DISCRETO DE SISTEMAS CONTINUOS

Objetivo: Diseñar y simular sistemas de control discreto de lazo cerrado (estado continuo con datos muestreados), en conjunto con control automático secuencial o supervisor (estados discretos activado por eventos), implementables ambos con un autómata programable, para interactuar con procesos físicos reales con ambos tipos de señales.

A. Representación discreta de **sistemas dinámicos muestreados** en tiempo continuo. Criterios de selección del periodo de muestreo. Análisis de estabilidad. Diseño de **controladores discretos** realimentados o de lazo cerrado para sistemas muestreados, alternativas básicas: emulación discreta del controlador continuo vs. diseño discreto directo del controlador. Ejemplos de aplicación. **Simulación híbrida** mediante Matlab / Simulink.

B. Combinación con sistema de **control automático secuencial o supervisor**, de estados discretos activado por eventos (modos de operación, generación de secuencia de trayectorias, protección por fines de carrera u otros eventos, detección y diagnóstico de fallas, etc.). Ejemplos de aplicación. **Simulación híbrida conjunta**, mediante Matlab / Simulink / Stateflow.

C. **Aplicación práctica**: implementación en autómata programable de ejemplos de aplicación, mediante entorno de desarrollo CODESYS o Step7: S7-Graph / PLCSIM (Siemens).

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Clases presenciales teórico-prácticas (4 hs./semana) con la siguiente modalidad:

- Presentación y desarrollo de conceptos y teoría con uso de recursos informáticos, explicaciones en pizarrón y material bibliográfico, según convenga.
- Planteo de ejemplos y aplicación en control discreto de procesos físicos, tanto continuos como discretos activados por eventos. Resolución de ejercicios simples con participación activa de los alumnos.
- Prácticas guiadas de modelado y simulación numérica (Matlab / Simulink / Stateflow) de sistemas de control discreto de procesos físicos continuos y/o activados por eventos. Análisis de su comportamiento dinámico y evaluación de desempeño.
- Prácticas de laboratorio, en función del equipamiento didáctico disponible (entornos de desarrollo y simulación de aplicaciones en PLCs: CODESYS / STEP 7).

Atención de Consultas (1h./semana) para aclarar dudas y reforzar temas de la asignatura.

Tareas complementarias obligatorias de los alumnos fuera del horario de clases:

- Estudio y ejercitación práctica, lectura de bibliografía y manuales actualizados.
- Proyecto Global Integrador: análisis, diseño e implementación de un sistema de control discreto con autómatas programables en una aplicación mecatrónica especificada. Desarrollo. Presentación de Informe técnico, y demostración mediante simulación y/o implementación. Coloquio y Exposición final.

Material de apoyo y recursos didácticos: proyector multimedia con pantalla, aula de prácticas con software de aplicación para simulación y entorno de desarrollo de proyectos con autómatas programables; laboratorio de automática y control de accionamientos.

Actividad	**Carga horaria por semestre**
Teoría y resolución de ejercicios simples	30
Formación práctica	
Formación Experimental – Laboratorio	10
Formación Experimental - Trabajo de campo	0
Resolución de problemas de ingeniería	10
Proyecto y diseño	10
Total	**60**

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Mandado Pérez, Enrique et al.	Autómatas Programables y Sists. de Automatización, 2°Ed.	Alfaomega -Marcombo	2009	1

Lee, E. A. y Seshia, S. A.	Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, 2° Edition.	MIT Press	2017	-
John, Karl-Heinz y Tiegelkamp, Michael	IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems, 2°Ed.	Springer	2010	-
Berger, Hans	Automating with SIMATIC: Hardware and Software, Configuration and Programming, Data Communication, Operator Control and Monitoring, 6°Ed.	Wiley	2016	-
Guerrero, Vicente et al.	Comunicaciones Industriales, 1°Ed.	Alfaomega	2010	-

Bibliografía complementaria

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
IEC (Int. Electrotechnical Commission)	International Standard IEC 61131: "Programmable Controllers"	IEC		
	IEC 61131- Part 1: General Information, Ed. 2.0		2003-05	
	IEC 61131- Part 3: Programming Languages, Ed. 3.0		2013-02	
	IEC 61131- Part 4: User Guidelines, Ed. 2.0		2004-07	
	IEC 61131- Part 5: Communications, Ed. 1.0		2000-11	
IEC (Int. Electrotechnical Commission)	Int. Standard IEC 60848, Ed. 3.0, "GRAFCET specification language for sequential function charts"		2013-02	
Jack, Hugh	Automating Manufacturing Systems with PLCs, Ver. 5.1		2008-03	
Martínez, L. et al.	Comunicaciones Industriales, 1°Ed.	Alfaomega -Marcombo	2009	
Franklin, G. et al.	Digital Control of Dynamic Systems, 3°Ed.	Addison-Wesley	1998	
Sommerville, I.	Ingeniería de Software, 7°Ed.	Pearson	2005	
Weidauer, J. and Messer R.	**Electrical Drives**: Principles, Planning, Applications, Solutions.	Publicis (Wiley VCH)	2014	-
Siemens, Phoenix Contact, Beckhoff, Schneider Electric, ABB, etc.	Manuales y catálogos técnicos de Autómatas Programables, Componentes y Sistemas de Control y Automatización Industrial			
Varios	Artículos técnicos seleccionados de publicaciones especializadas	IEEE, PLCOpen, etc.		

PROCESO DE EVALUACIÓN Y CONDICIONES DE APROBACIÓN *(s/ Ord. CS 108-10)*

La aprobación de la asignatura se obtiene cumpliendo un proceso de ***evaluación continua*** que consta de los siguientes pasos y requisitos progresivos:

1. **Inscripción** formal en condición de ***Alumno Regular***, teniendo cumplido el régimen de correlatividades anteriores estipulado para esta Asignatura según Resol.CD N° 029/16.
2. **Asistencia** participativa a clases presenciales teórico-prácticas (75% mínimo obligatorio), en las fechas estipuladas en el documento anexo P2 – Planificación de Cátedra 2021 (según Calendario Académico 2021). Inasistencias deberán justificarse.
3. Aprobación de **2 Evaluaciones Parciales** escritas teórico-prácticas (con Calificación mínima 60% = 6 puntos). Cada evaluación parcial tendrá, en caso de no aprobación, una instancia de Recuperación en fecha a definir por la cátedra.
4. El cumplimiento de los tres pasos anteriores en término permite acreditar la **Regularización de cursado** de la asignatura al final del cursado y habilita a avanzar en el desarrollo del Proyecto Global Integrador asignado.
5. Desarrollo y seguimiento de avance del **Proyecto Global Integrador**, en los meses inmediatos posteriores a la regularización de cursado, según Guía de Trabajo actualizada.
6. Presentación y Aprobación del **Informe Técnico** del Proyecto Global Integrador, y posterior **Demostración del Proyecto y Coloquio** (Calificación mínima 60% = 6 puntos).
7. Inscripción en Mesa de Examen normal o especial, con Presentación del Proyecto Global Integrador, a efectos de **Acreditación de Aprobación** de la Asignatura. Calificación final = 0.50 x Calificación Proyecto Global Integrador + 0.25 x Calificación Evaluación Parcial 1 + 0.25 x Calificación Evaluación Parcial 2.

Nota: Esta es una asignatura técnica multidisciplinaria con contenido teórico-práctico, que requiere interacción participativa en clase, estudio y desarrollo de aplicaciones prácticas para adquirir los conocimientos y competencias necesarias, con seguimiento y evaluación continua del proceso de aprendizaje.

Para inscribirse en Mesa de Examen es requisito indispensable haber realizado el cursado completo y regularización de la misma en tiempo y forma, como así también la realización del Proyecto Global Integrador indicado, con presentación y aprobación del Informe Técnico y Coloquio. NO se admite en Mesa de Examen a alumnos en condición de libre que no hayan cumplido todos estos requisitos.

Mendoza, 10 de julio de 2021.

Ing. Gabriel L. Julián, Prof. Titular