

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo			
P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA			
Espacio Curricular:	Autómatas y Control Discreto		
Profesor Titular:	Ing. Gabriel Luis Julián		
Carrera:	Ingeniería en Mecatrónica		
Año: 2023	Semestre: 10°	Horas Semestre: 60	Horas Semana: 4

CONTENIDOS MÍNIMOS (s/ Ord. CS 33/2009)

Automatismos: estructura de un sistema automatizado, Grafcet, estructura jerarquizada de Grafcet, medidas de seguridad en los automatismos. Autómatas programables: funciones y arquitectura, autómatas programables y tiempo real, módulos especializados, lenguajes de programación, entorno de los autómatas programables, elección de un autómata programable, aplicaciones y prácticas con autómatas. Protocolos de comunicación: definición de las necesidades de comunicación, evolución de las arquitecturas de los sistemas automatizados, tipos de protocolos industriales, ventajas de los protocolos de comunicación, criterios de elección de un protocolo de comunicación, definición de los perfiles de comunicación, estudio de protocolos más usuales como Modbus, CAN y DNP3. Control discreto: representación de sistemas de muestreo, estabilidad – precisión – rapidez, simulación con Matlab / Simulink.

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 los alumnos deben alcanzar 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 continuos y discretos.

CONTENIDOS

UNIDAD 1: INTRODUCCIÓN: AUTÓMATAS Y CONTROL DISCRETO

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

A. **Introducción** y Motivación. Sistemas de **Automatización** 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).

- 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 **GRAFSET** (según IEC 60848); estructura jerarquizada de GRAFSET. 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 sistemas de automatización: 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 (“GRAFSET”)). 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).
- 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 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 h/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 (1 h/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, 2ªEd.	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 Automatas 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 2023 (según Calendario Académico 2023). 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 = $0.50 \times \text{Calificación Proyecto Global Integrador} + 0.25 \times \text{Calificación Evaluación Parcial 1} + 0.25 \times \text{Calificación Evaluación Parcial 2}$.

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 enseñanza – 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 completa 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, 1 de agosto de 2023.



Ing. Gabriel L. Julián, Prof. Titular