



**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**SYLLABUS**

**PROYECTO CURRICULAR: INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**NOMBRE DEL DOCENTE:**

**ESPACIO ACADÉMICO (Asignatura):  
CONTROL II**

**CÓDIGO: 58**

**AREA DE CONOCIMIENTO:**

**AUTOMÁTICA**

**ESPACIOS ACADÉMICOS DEL AREA:**

1. Sistemas Dinámicos
2. Instrumentación Industrial
3. Electrónica Industrial
4. Control I
5. Control II
6. Control III

**CLASIFICACIÓN DE LOS ESPACIOS  
ACADEMICOS DEL AREA:**

Obligatorio ( ) :  
Básico ( ) Complementario ( )

Electivo ( X ) :  
Intrínsecas ( ) Extrínsecas ( )

**NUMERO DE ESTUDIANTES:**

**GRUPO:**

**NÚMERO DE CREDITOS: 3**

**TIPO DE CURSO:    TEÓRICO                      PRACTICO                      TEO-PRAC X**

*Alternativas metodológicas:*

*Clase Magistral (X), Seminario (    ), Seminario – Taller ( X ), Taller (    ), Prácticas ( X ),  
Proyectos tutoriados (    ), Otro: Trabajo Autónomo con tareas y uso de computador ( X )*

DIA	HORAS	SALON

**I. JUSTIFICACIÓN DEL ESPACIO ACADÉMICO (El Por Qué?)**

La relevancia de los sistemas de control automático en el mundo moderno es absolutamente incuestionable, no solo en el ámbito industrial sino que también en el cotidiano estamos interactuando constantemente con sistemas automáticos y de control en donde las exigencias de los mismos son cada día más elevadas. Todo esto ha llevado al control a ciertos niveles en los cuales las implementaciones desde el punto de vista continuo no podrán de ninguna manera brindar soluciones por completo satisfactorias. Esto ha trasladado de manera inevitable al control hasta el ámbito de los sistemas digitales, los cuales tienen la versatilidad suficiente para satisfacer todo tipo de condiciones impuestas por las diversas necesidades, no solo al nivel del desempeño sino que también desde el punto de vista de la adaptabilidad y escalabilidad.

Tener la posibilidad de modificar sobre la marcha la ley de control y en algunos casos hasta la estrategia misma de control, así como la creciente necesidad de monitorear, supervisar y

controlar de manera remota los procesos, es algo solo realizable con controladores digitales, y ha sido posible, de forma masiva, principalmente por la alta disponibilidad actual de procesadores digitales de bajo costo.

Los últimos avances en los sistemas embebidos, han permitido dar pasos enormes en el camino del control automático, ofreciendo soluciones de muy altas prestaciones a costos realmente muy bajos. Gracias a estos desarrollos se ha logrado el control inteligente de robots en líneas de producción, el manejo completamente automatizado de hogares y hasta un aumento significativo en las prestaciones y economía de los vehículos, sin hablar de otro sin fin de aplicaciones actuales del control digital.

Es por esto que el control digital es una rama de la ingeniería electrónica de gran relevancia y actualidad, y en este curso se pretende dar una visión global de todas sus posibles aplicaciones, sus fundamentos teóricos y las formas en las que se lleva a cabo sobre plataformas embebidas.

Para realizar el curso con éxito se debe tener conocimientos en cálculo integral (convergencia de sumatorias), ecuaciones en diferencias, álgebra lineal, matemáticas especiales, sistemas digitales y control continuo.

## **II. PROGRAMACION DEL CONTENIDO**

### **OBJETIVO GENERAL**

Conocer los elementos teóricos y los aspectos prácticos de mayor relevancia en el diseño e implementación de sistemas de control en tiempo discreto, mediante la utilización de computadoras digitales.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Definir y estudiar la transformada Z y sus propiedades como herramienta de análisis de las señales y los sistemas de tiempo discreto.

Estudiar el muestreo como herramienta de conversión de señales de tiempo continuo a señales de tiempo discreto y sus implicaciones en su recuperación.

Comprender y conocer los distintos métodos de discretización de señales involucrando error e incertidumbre.

Manejar las diferentes técnicas para evaluar la estabilidad de un sistema en tiempo discreto.

Comprender y estudiar la forma de implementar de manera digital controladores.

Estudiar las estrategias de diseño convencional de sistemas de control en tiempo discreto.

Comprender y estudiar el análisis de sistemas y diseño de controladores en el espacio de estado.

Estudiar y aplicar herramientas de software aplicadas al control (Matlab, LabView y Cassy Lab, C++, etc).

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Al completar con éxito el curso de Control II, los estudiantes deberían ser capaces de:

- Comprender los sistemas de muestreo y retención como herramientas de conversión de señales de tiempo continuo a discreto y viceversa, y sus implicaciones en el lazo de control.
- Seleccionar periodos de muestreo adecuados para diferentes sistemas teniendo en cuenta sus implicaciones en el comportamiento del sistema.
- Aplicar los distintos métodos de discretización de controladores de tiempo continuo para su implementación digital.
- Utilizar la transformada Z como herramienta para el análisis, diseño e implementación de controladores digitales.
- Determinar la estabilidad de sistemas en tiempo discreto por diferentes técnicas.
- Aplicar las estrategias de diseño de sistemas de control digital, tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia y en el espacio de estados.
- Utilizar herramientas de software para el diseño, simulación e implementación de sistemas de control digitales.

## COMPETENCIAS DE FORMACIÓN:

Al finalizar el curso se espera que el estudiante haya desarrollado las siguientes competencias:

### **Cognitivas:**

Reconocer las propiedades de las señales y los sistemas en los planos complejos  $s$  y  $z$ , transformar señales/sistemas de tiempo continuo en señales/sistemas de tiempo discreto. Comprender los componentes básicos de un sistema de tiempo discreto. Tener criterio para la selección del periodo de muestreo en un sistema de control de tiempo discreto. Comprender y manejar el diseño de controladores discretos por diferentes técnicas, así como su implementación en computadores y en sistemas embebidos.

### **Investigativas:**

Desarrollar formalmente el diseño de controladores digitales de tiempo discreto, desarrollar las simulaciones de los procesos y sistemas controlados utilizando las herramientas de MatLab.

### **Laborales:**

Reconocer las características específicas de los sistemas, aplicar las herramientas de análisis para la manipulación y control de los sistemas, aplicar las herramientas matemáticas estudiadas para la implementación de sistemas de control digital, especificar y diseñar sistemas de control digital, utilizar de manera apropiada las herramientas de Matlab, Labview y al menos un entorno de programación de microcontroladores con fines de automatización y control empleando los conceptos de control estudiados.

**PROGRAMA SINTÉTICO:**

1. INTRODUCCION Y TRANSFORMADA Z
2. MUESTREO Y RECONSTRUCCIÓN
3. SISTEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO
4. DISCRETIZACION DE CONTROLADORES ANALOGOS
5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO
6. DISEÑO DE CONTROLADORES DE TIEMPO DISCRETO – METODOS CLÁSICOS
7. REALIMENTACIÓN DE ESTADO Y DISEÑO DE OBSERVADORES
8. IDENTIFICACION PARAMETRICA DE SISTEMAS DINAMICOS

## **PROGRAMA DETALLADO**

### **1. INTRODUCCION Y TRANSFORMADA Z**

- 1.1 Introducción
- 1.2 Sistemas de Tiempo Discreto
- 1.3 Transformada Z, Definición y Propiedades
- 1.4 Solución de ecuaciones de Diferencias
- 1.5 Transformada inversa Z

### **2. MUESTREO Y RECONSTRUCCIÓN**

- 2.1 El Muestreador ideal
- 2.2 Evaluación de  $E^*(s)$
- 2.3 Reconstrucción de Datos

### **3. SISTEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO**

- 3.1 Relación entre  $E(z)$  y  $E(s)$
- 3.2 La función de transferencia pulso
- 3.3 Sistemas con tiempos muertos (retardo de transporte)

### **4. DISCRETIZACION DE CONTROLADORES ANALOGOS**

- 4.1 Diferencia atrás
- 4.2 Diferencia adelante
- 4.3 Regla trapezoidal
- 4.4 Invarianza al impulso
- 4.5 Invarianza al escalón
- 4.6 Mapeo de polos y ceros

### **5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO**

- 5.1 Estabilidad
- 5.2 Criterio de Jury
- 5.3 Aplicación del criterio de Routh-Hurwitz a sistemas en tiempo discreto
- 5.4 Lugar de las raíces

### **6. DISEÑO DE CONTROLADORES DE TIEMPO DISCRETO – METODOS CLÁSICOS**

- 6.1 Especificaciones de los sistemas de control en el dominio del tiempo
- 6.2 Transformación del plano S al plano Z
- 6.3 Diseño de controladores mediante la utilización del lugar geométrico de las raíces
- 6.4 Diseño de controladores utilizando métodos frecuenciales
- 6.5 Diseño de controladores de tiempo de establecimiento mínimo

### **7. DISEÑO DE CONTROLADORES DE TIEMPO DISCRETO – METODO MODERNO**

- 7.1 Controlabilidad y Observabilidad de sistemas de tiempo discreto
- 7.2 Realimentación de estado: Asentamiento de polos
- 7.3 Estimación de estado

7.4 Diseño de observadores de orden completo y de orden reducido

## 8. IDENTIFICACION PARAMETRICA DE SISTEMAS DINAMICOS

- 8.1. Revisión del método de mínimos cuadrados
- 8.2. Aplicación de los mínimos cuadrados a la identificación paramétrica
- 8.3. Modelos lineales y sets de modelos lineales
- 8.4. Familias de modelos de funciones de transferencia
- 8.5. Selección de Estructura y Validación del Modelo

### III. ESTRATEGIAS

#### Metodología Pedagógica y Didáctica:

Dado que la secuencia del curso se desarrolla a través de las clases magistrales, los temas cubiertos en cada sesión se hacen de manera general. Es necesario que el estudiante, en forma individual o en grupo, lea y estudie los detalles de cada tema en los textos escogidos. Por otro lado, tanto en las sesiones de clase como en las tareas, el estudiante tendrá la posibilidad de incorporar el uso del computador y de programas matemáticos especializados para el análisis y la resolución de problemas. En las clases magistrales se mostrará el uso del programa Matlab® como ayuda didáctica y como herramienta de cálculo. Adicionalmente, se cuenta con el laboratorio de la asignatura, espacio en el cual los estudiantes podrán profundizar los conceptos y aplicaciones vistas.

	Horas			Horas profesor/ semana	Horas Estudiante/ semana	Total Horas Estudiante/ semestre	Créditos
Tipo de Curso	TD	TC	TA	(TD + TC)	(TD + TC +TA)	X 16 semanas	
Teórico	4	2	3	6	9	144	3

**Trabajo Presencial Directo (TD):** trabajo de aula con plenaria de todos los estudiantes.

**Trabajo Mediado Cooperativo (TC):** Trabajo de tutoría del docente a pequeños grupos o de forma individual a los estudiantes.

**Trabajo Autónomo (TA):** Trabajo del estudiante sin presencia del docente, que se puede realizar en distintas instancias: en grupos de trabajo o en forma individual, en casa o en biblioteca, laboratorio, etc.)

*Dentro de la metodología de desarrollo del curso se consideran las siguientes componentes*

1. Exposición del docente: el profesor expone y aclarará los temas centrales del contenido, propiciando la participación activa de los estudiantes en el desarrollo de la clase aprovechando la lectura previa hecha por ellos.
2. Ejercicios de aplicación: se desarrollarán ejercicios de aplicación y talleres en grupo en la clase y fuera de ésta de tal forma que se promueva el trabajo en equipo.
3. Práctica de simulación: se desarrollará una práctica de simulación del comportamiento de sistemas de control y se apoyará el proceso de formación mediante tutorías de orientación a los estudiantes.
4. Prácticas de implementación: se desarrollarán en los laboratorios de ingeniería de la universidad prácticas orientadas a la profundización de los conceptos de control. El trabajo en el laboratorio estará dividido en lo que se logró hacer en la sesión semanal y un extra que debe ser logrado por los estudiantes en tiempo adicional.

#### IV. RECURSOS

**Medios y Ayudas:**

Para el desarrollo de los ejercicios a resolver en casa, se requiere el uso de computador y un programa especializado como Matlab®. El laboratorio de la Universidad cuenta con los dos recursos. Adicionalmente, en las sesiones en el aula se requiere del uso de un computador, el programa Matlab® y un proyector de video (*video beam*), con los cuales también se cuenta en la Universidad.

En los laboratorios se cuenta con los instrumentos necesarios para desarrollar las practicas y será responsabilidad de cada grupo de trabajo orientado a caracterizar y posteriormente controlar las plantas.



TEXTOS GUÍAS
<p>Charles L. Phillips– Troy Nagle H., <b>DIGITAL CONTROL SYSTEMS ANALYSIS AND DESIGN</b>, Editorial prentice Hall, Third Edition, 1995.</p> <p>Katsuhiko Ogata, <b>DISCRETE TIME CONTROL SYSTEMS</b>, Segunda Edición, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México, 1996.</p> <p>Kuo Benjamin, <b>DIGITAL CONTROL SYSTEMS</b>, Segunda Edición, Sanders college publishing.1992.</p> <p>Gene Franklin – David Powel, <b>DIGITAL CONTROL OF DYNAMIC SYSTEMS</b>, Second Edition, 1992.</p> <p>Chen Chi-Tsong, <b>ANALOG AND DIGITAL CONTROL SYSTEM DESIGN</b> , Sanders college publishing.1993.</p> <p>Karl J. Aström – Bjorn Wittenmark, <b>COMPUTER – CONTROLLED SYSTEMS: THEORY AND DESIGN</b>, Editorial Prentice Hall, Third Edition, 1197.</p>
TEXTOS COMPLEMENTARIOS
REVISTAS
<p><i>IEEE Control Systems Magazine</i>  <i>IEEE Transactions on Automatic Control</i>  <i>IEEE Transactions on Automation Science and Engineering</i>  <i>ISA Transactions</i>  <i>Automatica</i>  <i>International Journal of Process Control</i></p>
DIRECCIONES DE INTERNET
<p>IEEE Control Systems Society: <a href="http://www.ieeecss.org/">http://www.ieeecss.org/</a>  ISA – The International Society of Automation: <a href="http://www.isa.org/">http://www.isa.org/</a>  The Control Virtual Library:  <a href="http://www-control.eng.cam.ac.uk/extras/Virtual_Library/Control_VL.html">http://www-control.eng.cam.ac.uk/extras/Virtual_Library/Control_VL.html</a>  Automation Federation: <a href="http://www.automationfederation.org/">http://www.automationfederation.org/</a></p>
V. ORGANIZACIÓN / TIEMPOS
<p><b>Espacios, Tiempos, Agrupamientos:</b>  Se recomienda trabajar cada unidad de acuerdo a la programación, utilización de Internet (Aula virtual del curso en plataforma Moodle) para comunicación con los estudiantes para revisiones de avances. Se dedicará tiempo a la atención presencial en los horarios de tutorías del profesor.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. INTRODUCCION Y TRANSFORMADA Z  Semanas 1 – 2</li> </ol>

2. MUESTREO Y RECONSTRUCCIÓN Semana 3 3. SISTEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO Semana 3 4. DISCRETIZACION DE CONTROLADORES ANALOGOS Semana 4 – 5 5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS SITEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO Semanas 8 – 9 6. DISEÑO DE CONTROLADORES DE TIEMPO DISCRETO – METODOS CLÁSICOS Semanas 10 – 12 7. REALIMENTACIÓN DE ESTADO Y DISEÑO DE OBSERVADORES Semanas 13 – 15 8. IDENTIFICACION PARAMETRICA DE SISTEMAS DINAMICOS Semanas 6 – 7			
<b>VI. EVALUACIÓN</b>			
<b>P R I M I</b>	<b>TIPO DE EVALUACIÓN</b>	<b>FECHA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>PRIMERA NOTA</b>	LABORATORIO	A lo largo del semestre	<b>20%</b>

<b>SEGUNDA NOTA</b>	<p>Escritas o prácticas – tipo taller, programa o Laboratorio</p> <p>7% Transformada Z 7% Discretización de sistemas de tiempo continuo 7% Identificación</p>	<p>Semana 2/3 Semana 5/6 Semana 8</p>	<b>21%</b>
<b>TERCERA NOTA</b>	<p>Escritas o prácticas – tipo taller, examen o Laboratorio</p> <p>7% Estabilidad 15% Diseño de controladores (LGR y frecuencia) 7% Tiempo de establecimiento mínimo</p>	<p>Semana 10 Semana 11 Semana 13</p>	<b>29%</b>
<b>EXAMEN FINAL</b>	<p>Escrita. Asentamiento de polos. Práctica, Teórica o teorico-práctica</p>	<p>Semana 17</p>	<b>30%</b>
<b>ASPECTOS A EVALUAR DEL CURSO</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluación del desempeño docente</li> <li>2. Evaluación de los aprendizajes de los estudiantes en sus dimensiones: individual/grupo, teórica/práctica, oral/escrita.</li> <li>3. Autoevaluación:</li> <li>4. Coevaluación del curso: de forma oral entre estudiantes y docente.</li> </ol>			

**DATOS DEL DOCENTE**

**NOMBRE :** Diana Marcela Ovalle Martínez

**PREGRADO :**

Ingeniera Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2005).

**POSTGRADO :**

Magíster en Ingeniería Eléctrica - Control (Universidad de los Andes - 2007)

Doctorado en Tecnologías Industriales – Control Optimo / Optimización (Universidad Politécnica de Cartagena – España - 2011)

**ASESORIAS: FIRMA DE ESTUDIANTES**

NOMBRE	FIRMA	CÓDIGO	FECHA
1.			
2.			
3.			

**FIRMA DEL DOCENTE**

FECHA DE ENTREGA: Abril de 2022 (versión 7 – Actualización)