



### DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL CURSO

<b>DEPARTAMENTO:</b>	Electrónica.
<b>ACADEMIA A LA QUE PERTENECE:</b>	Control Automático
<b>NOMBRE DE LA MATERIA:</b>	Sistemas de Control Muestreado
<b>CLAVE DE LA MATERIA:</b>	ET319
<b>CARÁCTER DEL CURSO:</b>	
<b>TIPO DE CURSO:</b>	Curso
<b>No. DE CRÉDITOS:</b>	
<b>No. DE HORAS TOTALES:</b>	80
<b>ANTECEDENTES:</b>	Teoría de Control II
<b>CONSECUENTES:</b>	Control Distribuido
<b>CARRERAS EN QUE SE IMPARTE:</b>	Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica
<b>FECHA DE ULTIMA REVISIÓN:</b>	20 de Junio de 2013

### PROPÓSITO GENERAL

En este curso se estudiarán los sistemas de control en tiempo discreto o comúnmente llamados sistemas de control digital. Esta materia es de importancia básica en el desarrollo del ingeniero electrónico ya que el desarrollo vertiginoso del área de la computación y el incremento de la velocidad de procesamiento hacen posible que se apliquen algoritmos de control de manera flexible y de forma eficiente bajando de manera considerable costos y tiempos.

### OBJETIVO TERMINAL

El objetivo de la materia de sistemas de control muestreado es que el alumno se familiarice con los sistemas de control digital o también llamados sistemas de control en tiempo discreto, aprendiendo los algoritmos principales tanto clásicos: compensadores en el dominio de la frecuencia, diseño de compensadores mediante el lugar de las raíces, diseño de PID's et c; como modernos: concepto de variables de estado, retroalimentación de variables de estado, diseño de observadores, diseño de reguladores, etc.

### CONOCIMIENTOS PREVIOS

El Alumno deberá conocer y saber aplicar las técnicas de control clásico en el dominio de la frecuencia utilizados en el ámbito de tiempo continuo, tales como compensadores diseñados con diagramas de Bode y con la técnica del lugar de las raíces. Para poder entender su aplicación en el contexto de tiempo discreto; así mismo es deseable que hayan llevado o lleven paralelamente al este curso la materia de Control Moderno (donde se estudia el concepto de variables de estado en el ámbito de tiempo continuo) ayudando a comprender el concepto de variable de estado y su aplicación en el ámbito de tiempo discreto.



### HABILIDADES Y DESTREZAS A DESARROLLAR

El alumno será capaz de comprender las técnicas de control digital mediante el diseño de algoritmos de control tanto en el dominio de la frecuencia a través de la utilización de los diagramas de Bode y el lugar de las raíces como en el dominio del tiempo con la utilización de las técnicas de control en variables de estado.

### ACTITUDES Y VALORES A FOMENTAR

Auto gestión del Conocimiento. Disposición a la investigación y su aplicación a la búsqueda de soluciones y optimizaciones. Trabajo de colaboración por equipo. Respeto y cuidado del entorno, disposición por los procesos de mejora continua, sentido de responsabilidad social, compromiso con la continuidad y asistencia, puntualidad orden y disciplina.

### METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

Método	Método tradicional de exposición	Método Audiovisual	Aula Interactiva	Multimedia	Desarrollo de proyecto	Dinámicas	Estudio de casos	Otros (Especificar) Investigación Tareas
%	60			20				20

### CONTENIDO TEMÁTICO

<b>MODULO 1. Procesamiento Digital de Señales</b>		<b>25 HRS</b> (5 Hrs. No presenciales)
<i>OBJETIVO DEL MODULO</i> El alumno examinará y aprenderá las relaciones entre las señales analógicas y digitales dadas por los procesos de muestreo y retención, así como la representación matemática que mediante la transformada z se realiza de las señales digitales.		
<b>1.1</b>	<b>Repaso de Transformada de Laplace</b>	<b>6 HRS</b>
	<i>Objetivo: Recordar los conceptos básicos de la transformada de Laplace.</i>	
<b>1.1.1</b>	<b>Definición de la Transformada de Laplace y la Transformada Inversa de Laplace.</b>	<b>2 HRS</b>
	<i>Objetivo: Recordar la definición de la transformada de Laplace así como la transformada de funciones básicas. Recordar la fórmula integral de Cauchy y su uso para la obtención de la transformada inversa de Laplace. (Obtención de la Transformada de Laplace a partir de la Transformada de Fourier)</i>	
<b>1.1.2</b>	<b>El Teorema de Convulsión en Tiempo Continuo.</b>	<b>2 HRS</b>
	<i>Objetivo: Recordar el Teorema de convulsión</i>	



		<i>tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia, así mismo recordar algunos teoremas importantes de la transformada de Laplace tales como: derivación compleja, derivación real. (Demostración de las Formulas y su aplicación en la obtención de transformadas de Laplace)</i>	
	<b>1.1.3</b>	<b>El teorema del Traslado.</b>	<b>1 HRS</b>
		<i>Objetivo: Recordar el Teorema del Traslado tanto en el Dominio del Tiempo como en el dominio de la frecuencia. Con lo anterior Demostrar el teorema de modulación de amplitud (En tiempo continuo). (Con el fin de aplicarlo después al muestreo de señales)</i>	
	<b>1.1.4</b>	<b>El Concepto de Sistema.</b>	<b>1 HRS</b>
		<i>Objetivo: Recordar el Concepto de Sistema y la definición de Función de Transferencia <math>G(s)</math>. Interpretar <math>G(s)</math> como una ganancia en el Dominio de la Frecuencia; explicar entonces como se utiliza éste concepto en la definición de Filtro en tiempo continuo.</i>	
<b>1.2</b>	<b>Procesamiento Digital de Señales y la Transformada Z.</b>		<b>19 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender los principales mecanismos para adquisición y procesamiento digital de datos, así como la utilización de la técnica matemática de la transformada z en el procesamiento digital de señales.</i>	
	<b>1.2.1</b>	<b>Sistemas de Adquisición, Conversión y Procesamiento de Datos.</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender los principales mecanismos de conversión de señales analógicas a señales digitales (ADC's) y de señales digitales a señales analógicas (DAC's) y las diversas configuraciones de estos tals como: ADC tipo Escalera, Rampa, Doble Rampa, Flash, Half Flash, circuito integrado ADC0820, etc y DAC tipo de resistencias ponderadas, red R-2R, circuito integrado DAC0800, etc. Así mismo aprender los mecanismos de muestreo y retención y su principal diferencia con el retenedor de orden cero utilizado en la teoría de transformada Z.</i>	



	1.2.2	<b>El Proceso de Muestreo Ideal y el Teorema del Muestreo.</b>	2 HRS
		<i>Objetivo: Aprender el proceso de Muestreo ideal, aplicando transformada de Laplace por medio de la utilización del teorema de convolución, obtener el espectro de una señal muestreada; Aplicando el filtro Ideal obtener el teorema de Muestreo de Nyquist y la ecuación de interpolación, Distinguir la diferencia entre el muestreo ideal y el muestreo real realizado mediante un convertidor ADC.</i>	
	1.2.3	<b>La transformada Z y su relación con la transformada de Laplace.</b>	1 HRS
		<i>Objetivo: Aprender la definición de la transformada Z obtenida a partir de la transformada de Laplace de una señal muestreada idealmente (Comúnmente llamada transformada estrella);</i>	
	1.2.4	<b>Representación de Señales básicas mediante la transformada Z.</b>	2 HRS
		<i>Objetivo: Aprender a obtener la transformada Z de señales básicas tales como: La función Delta de Kronecker, escalón unitario, rampa, rampa amortiguada, sinusoidal, sinusoidal amortiguada. Explicar como es que la división de los polinomios en Z representa la señal.</i>	
	1.2.5	<b>Teoremas y Propiedades Básicas de la Transformada Z.</b>	2 HRS
		<i>Objetivo: Aprender algunos teoremas y propiedades básicas de la transformada Z tales como: Linealidad y superposición de la</i>	



		<i>transformada Z, el teorema de traslación compleja, teorema de traslación real (hacia delante y hacia atrás), el teorema de derivación compleja; útiles para la obtención de la transformada Z de señales complejas.</i>	
	<b>1.2.6</b>	<b>Obtención de la Transformada Z a partir de la Transformada de Laplace.</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Obtener y Conocer la formula de convolución que obtiene la Transformada Z a partir de la transformada de Laplace de una Señal, aprender la utilización de la misma mediante la aplicación de la formula integral de Cauchy.</i>	
	<b>1.2.7</b>	<b>Representación de una Señal mediante una ecuación en diferencias.</b>	<b>1 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender, mediante la utilización del teorema del traslado real, como es que una señal se puede expresar como una ecuación en diferencias; para, con lo anterior, poder programar una señal en un programa de cómputo tal como el MATLAB.</i>	
	<b>1.2.8</b>	<b>Transformada Z Inversa.</b>	<b>4 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender los métodos para obtener la transformada Z inversa, tales como: El método de División Directa, El método de Ecuaciones en Diferencia (Método Computacional), El método de fracciones parciales (mediante tabla de transformadas) y la Obtención y aplicación de la integral de Inversión utilizando la formula integral de Cauchy.</i>	
	<b>1.2.9</b>	<b>Solución de Ecuaciones en Diferencia.</b>	<b>3 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender a resolver una ecuación en diferencias; obtener la ecuación en diferencias que describe un problema dado, tal como: el problema de calculo de interés (Economía), el problema de la red en escalera (Electricidad), el problema de generación de partículas atómicas (Física), el problema de los número figurados (Matemáticas); el problema de la suma geométrica (Calculo Computacional), etc.</i>	



<b>MODULO 2. ANALISIS DE SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL</b>		<b>20 HRS</b> (4 HRS no presenciales)
<i>OBJETIVO DEL MODULO</i> El alumno conocerá el concepto de función de transferencia en transformada $z$ a partir del concepto de función de transferencia en transformada de Laplace obteniendo la Sumatoria de Convolución, será capaz de analizar sistemas de control digital mediante diagramas de bloques, programará controladores y filtros digitales, será capaz de averiguar si un sistema de control es estable o inestable y analizará el error en estado estacionario así como las características de respuesta de un sistema de 2do orden.		
<b>2.1</b>	<b>La Función de Transferencia <math>G(z)</math></b>	<b>12 HRS</b>
	<i>Objetivo: Conocer y Aprender el Concepto de Función de transferencia para sistemas en tiempo discreto; Utilizando el concepto aprender y comprender el concepto de filtrado digital y controlador digital.</i>	
<b>2.1.1</b>	<b>Relación entre funciones de transferencia en tiempo continuo y tiempo discreto.</b>	<b>2 HRS</b>
	<i>Objetivo: Aprender como es que se deriva el concepto de función de transferencia discreta (<math>G(z)</math>) a partir de una función de transferencia continua (<math>G(s)</math>); Obteniendo la Sumatoria de Convolución y el Teorema de Convolución en Tiempo discreto.</i>	
<b>2.1.2</b>	<b>Concepto de Filtrado en Tiempo Discreto</b>	<b>2 HRS</b>
	<i>Objetivo: Aprender como es que una Función de transferencia actúa como filtro para señales sinusoidales; obteniendo la respuesta de un sistema discreto a una entrada sinusoidal y aplicando el principio de superposición.</i>	
<b>2.1.3</b>	<b>Diagramas de Bloques</b>	<b>2 HRS</b>
	<i>Objetivo: Aprender, partiendo del concepto de diagramas de bloques en tiempo continuo, como es que se manejan los bloques en tiempo discreto y como es que la función de transferencia del sistema completo depende de la ubicación de los muestreadores (procesadores digitales)</i>	
<b>2.1.4</b>	<b>Reconstrucción de Señales.</b>	<b>4 HRS</b>
	<i>Objetivo: Aprender la función de transferencia de diferentes tipo de reconstructores de señales tales como: Retenedor de orden cero, primer orden, poligonal y poligonal con retraso. Comparar su respuesta con la</i>	



		<i>respuesta de la función interpoladora del teorema de Nyquist haciendo énfasis en aquellos que son realizables físicamente y los que no lo son.</i>	
	<b>2.1.5</b>	<b>Concepto de Controlador Digital.</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender el concepto de controlador digital de sistemas en tiempo continuo haciendo énfasis en la utilización del retenedor de orden cero para manejar el modelado mediante señales muestreadas con muestreador ideal; con esto describir el concepto de función de transferencia Digital <math>G(z)</math> con dispositivo de retención de orden cero.</i>	
<b>2.2</b>	<b>Análisis de sistemas de Control Digital</b>		<b>8 HRS</b>
		<i>Objetivo: El alumno aprenderá las diferentes técnicas para decir si un sistemas es estable o inestable, Aprenderá a analizar el error en estado estacionario y describirá la respuesta temporal de sistemas de 2do orden digitales.</i>	
	<b>2.2.1</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>1 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender el concepto de estabilidad de sistemas digitales; mediante la respuesta de un sistema digital a una entrada acotada; utilizando para esto la expansión en fracciones parciales y observando cuales serán las condiciones para que la respuesta del sistema tienda a una salida acotada.</i>	
	<b>2.2.2</b>	<b>Pruebas de estabilidad</b>	<b>3 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender las diferentes técnicas para probar la estabilidad de un sistema de control digital tales como: La prueba de Jury, La prueba de Routh y la prueba de estabilidad de Schur-Cohn.</i>	
	<b>2.2.3</b>	<b>Análisis de Error en estado estacionario</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender como es que se realiza el análisis del error en estado estacionario, con el fin de establecerlo como un parámetro de diseño en los sistemas de control.</i>	
	<b>2.2.4</b>	<b>Respuesta de Sistemas de 2do orden</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender como es que se relacionan los parámetros de un sistema de 2do orden en continuo con los parámetros del sistema en tiempo discreto; establecer las formulas para</i>	



		<i>el máximo sobre-impulso, el tiempo de establecimiento, la frecuencia natural y la frecuencia natural amortiguada utilizando los parámetros del sistema en discreto.</i>	
<b>MODULO 3. Diseño de Filtros y Controladores Digitales Mediante Técnicas Clásicas.</b>			<b>18 HRS</b> (4 HRS no presenciales)
<i>OBJETIVO DEL MODULO</i> <i>Aprender a diseñar filtros digitales y controladores digitales mediante el método de respuesta en frecuencia así como controladores digitales mediante el método del lugar de las raíces y métodos analíticos.</i>			
<b>3.1</b>	<b>Diseño mediante respuesta en frecuencia</b>		<b>10 HRS</b>
	<i>Objetivo: Aprender a diseñar filtros y controladores digitales mediante el método de respuesta en frecuencia.</i>		
	<b>3.1.1</b>	<b>Diagramas de Bode, Margen de Fase y Margen de Ganancia.</b>	<b>1 HRS</b>
		<i>Objetivo: Recordar los conceptos de margen de fase y margen de ganancia utilizados en sistemas continuos para definir si un sistema es estable o inestable mediante el método de estabilidad relativa.</i>	
	<b>3.1.2</b>	<b>La transformada <math>w</math> y el diseño de filtros digitales</b>	<b>3 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender a diseñar filtros digitales mediante la transformada <math>w</math>, también conocida como transformación bi-lineal; comprender y aprender el concepto de pre-distorsión de la frecuencia, conociendo también la necesidad del mismo para el diseño de filtros digitales; utilizando el concepto de truncamiento de la respuesta al impulso, realizar el diseño de filtros de respuesta finita (FIR), utilizando filtros de respuesta infinita (IIR).</i>	
	<b>3.1.3</b>	<b>Diseño de Compensadores Digitales</b>	<b>3 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender a diseñar compensadores digitales en el dominio de la frecuencia, tales como: compensador de adelanto, atraso y atraso-adelanto, mediante la utilización de la transformación bi-lineal y los diagramas de Bode. (Utilizando MatLab)</i>	



	<b>3.1.4</b>	<b>Diseño de Controladores PI, PD y PID</b>	<b>3 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender a diseñar controladores digitales del tipo proporcional-integral (PI), proporcional-derivativo (PD) y proporcional-integral-derivativo (PID), mediante la utilización de la transformación bi-lineal y los diagramas de bode (Utilizando MatLab).</i>	
<b>3.2</b>	<b>Diseño mediante el lugar geométrico de las raíces</b>		<b>8 HRS</b>
	<i>Objetivo: Aprender a diseñar compensadores digitales mediante el método del lugar geométrico de las raíces</i>		
	<b>3.2.1</b>	<b>Propiedades del Lugar Geométrico de las Raíces</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender las propiedades del lugar geométrico de las raíces para construirlo rápidamente; Construcción del lugar geométrico de las raíces con MatLab.</i>	
	<b>3.2.2</b>	<b>Diseño de compensadores mediante el lugar de las raíces</b>	<b>3 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender a diseñar compensadores digitales tales como: el compensador de adelanto el de atraso y el de atraso adelanto, mediante el lugar de las raíces.</i>	
	<b>3.2.3</b>	<b>Diseño de controladores PD, PI y PID.</b>	<b>3 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender a diseñar controladores del tipo proporcional-derivativo (PD), proporcional-integral (PI) y proporcional-integral-derivativo (PID), utilizando la técnica del lugar de las raíces.</i>	
<b>MODULO 4. Diseño de controladores mediante Técnicas en Variables de Estado.</b>			<b>17 HRS</b> (3 Hrs. no Presenciales)
<i>OBJETIVO DEL MODULO</i> <i>Aprender las técnicas de diseño de controladores utilizando el concepto de variables de estado en tiempo discreto.</i> <b>NOTA:</b> <i>En este modulo se considera que el alumno ha llevado o esta llevando a la par la clase de Control Moderno.</i>			
	<b>4.1</b>	<b>Variables de estado</b>	<b>6 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender el concepto de variables de estado y como representar un sistema discreto mediante variables de estado.</i>	
	<b>4.1.1</b>	<b>Concepto y definición de variable de estado</b>	<b>1 HRS</b>



		<i>Objetivo: Aprender el concepto de variable de estado en tiempo discreto, comprender como una función de transferencia <math>G(z)</math> se puede representar mediante variables de estado.</i>	
	<b>4.1.2</b>	<b>Representación en el espacio de estado de un sistema en tiempo discreto</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender las formas de representar un sistema en variables de estado tales como la forma controlador, la forma observador, la forma diagonal y la forma de Jordan.</i>	
	<b>4.1.3</b>	<b>Relación entre función de transferencia y variables de estado.</b>	<b>1.5 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender como se obtiene la función de transferencia a partir de la representación en variables de estado utilizando la transformada Z.</i>	
	<b>4.1.4</b>	<b>Solución de la ecuación de estado en tiempo discreto</b>	<b>1.5 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender como se resuelve la ecuación de estado, utilizando para ello la transformada Z inversa.</i>	
<b>4.2</b>	<b>Diseño de controladores en variables de estado</b>		<b>11 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender a Diseñar controladores utilizando la técnica de variables de estado.</i>	
	<b>4.2.1</b>	<b>Discretización de las ecuaciones de estado en tiempo continuo</b>	<b>1 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender como es que un sistema continuo tiene una representación en variables de estado en tiempo discreto; con la cual se puede trabajar para obtener un controlador digital para el sistema continuo.</i>	
	<b>4.2.2</b>	<b>Retroalimentación de estado</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender el concepto de retroalimentación de estado y comprender como es que esta retroalimentación puede ubicar los polos del sistema en lazo cerrado, si el sistema cumple con la condición de controlabilidad; aprender las formulas de Ackermann y de Bass-Gura para ubicar los polos de un sistema.</i>	
	<b>4.2.3</b>	<b>Diseño de observadores de estado</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender el concepto de</i>	



		<i>observador de estados y como es que se pueden realizar observadores de estado en tiempo discreto aplicando las formulas duales de Ackermann y Bass-Gura. Comprender el principio de Separación y como mediante este principio el observador diseñado puede ser un controlador para el sistema.</i>	
	<b>4.2.4</b>	<b>Diseño de controladores con tiempo de establecimiento mínimo.</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Diseñar controladores con tiempo de establecimiento mínimo utilizando el enfoque de diseño mediante la función de transferencia, comprender el problema de oscilaciones ocultas y como es posible diseñar el controlador para que no presente este tipo de oscilaciones; después comparar dicho procedimiento de diseño con la ubicación de polos en cero.</i>	
	<b>4.2.5</b>	<b>Regulación en Tiempo Discreto con Retroalimentación del Estado.</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender como es que se realiza la regulación en tiempo discreto para que la salida del sistema siga señales de referencia variables suponiendo que se tiene disponible el vector de estados del sistema y el sistema de referencia llamado exosistema.</i>	
	<b>4.2.6</b>	<b>Regulación con retroalimentación del error</b>	<b>2 HRS</b>
		<i>Objetivo: Aprender como se realiza (mediante la utilización de observadores), la regulación en tiempo discreto para que la señal de salida del sistema siga señales de referencia variables, suponiendo que se tiene disponible solo la señal de error entre la salida del sistema y la señal de referencia.</i>	

### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

2 Exámenes Departamentales	50 % (25 % C/U)
8 Tareas Programadas	24 % (3 % C/U)
5 Trabajos de Investigación	10 % (2 % C/U)
8 Exámenes Rápidos	16 % (2 % C/U)



### BIBLIOGRAFÍA

#### BÁSICA

TITULO	AUTOR	EDITORIAL	AÑO DE EDICIÓN	% DE COBERTURA DEL CURSO
Sistemas de Control en Tiempo Discreto	K. Ogata	Prentice Hall	1996	100%
Sistemas de Control Digital	B. Kuo	CECSA	1992	100%

#### COMPLEMENTARIA

TITULO	AUTOR	EDITORIAL	AÑO DE EDICIÓN	% DE COBERTURA DEL CURSO
Tratamiento Digital de Señales	J. G. Proakis y D. G. Manolakis	Prentice Hall	1998	70 %
Señales y Sistemas	A. Oppenheim y A. Willsky	Pearson Education	1997	60%
Computer Controlled Systems: Theory and Design	K. J. Astrom and B. Wittenmark	Prentice All	1996	100%

### REVISIÓN REALIZADA POR:

NOMBRE DEL PROFESOR	FIRMA
Dr. Guillermo Obregón Pulido.	
Mtro. Juan Gustavo Ruiz Barajas	

**Vo.Bo. Presidente de Academia**

--

**Vo.Bo. Jefe del Departamento**

--

lunes, 03 de noviembre de 2008