



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

1. DATOS GENERALES DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE (UA) O ASIGNATURA			
Nombre de la Unidad de Aprendizaje (UA) o Asignatura			Clave de la UA
Control III (Control no lineal)			I9903
Modalidad de la UA	Tipo de UA	Área de formación	Valor en créditos
Presencial	Curso	Básica particular	8
UA de pre-requisito	UA simultáneo		UA posteriores
Control I, Modelado y simulación de sistemas, Métodos matemáticos III (Ecuaciones diferenciales), Teoría de sistemas I (Análisis matemático de señales y sistemas), y Métodos matemáticos II (Cálculo)	Ninguna		Control IV
Horas totales de teoría	Horas totales de práctica		Horas totales del curso
48	32		80
Licenciatura(s) en que se imparte		Módulo al que pertenece	
Ingeniería Robótica		Sistemas de Control	
Departamento		Academia a la que pertenece	
Ciencias Computacionales		Academia de Control de Robots	
Elaboró		Fecha de elaboración o revisión	
Dr. Emmanuel Cruz Zavala Dr. Emmanuel Nuño Ortega Dr. Carlos Iván Aldana López		15/Diciembre/2022	



**2. DESCRIPCIÓN DE LA UA O ASIGNATURA**

**Presentación**

La unidad de aprendizaje de Control III puede llevarse hasta después de haber acreditado la mayoría de las materias anteriores al sexto semestre del módulo de Control porque se espera que los estudiantes inscritos tengan un dominio del control lineal, de la representación de estados, del modelado de sistemas dinámicos, de la obtención de la solución de ecuaciones diferenciales de manera analítica y manejen herramientas computacionales para la resolución de problemas que se presentarán en el curso.

El curso de Control III se centra en el estudio de los sistemas de control no lineal. Se presentan las herramientas básicas y avanzadas para el análisis cualitativo alrededor de los puntos de equilibrio de los sistemas no lineales y se valida analíticamente el diseño de controladores no lineales para sistemas dinámicos.

El presente curso está dividido en tres partes principales. La primera parte del curso establece las no linealidades presentes en los sistemas físicos y los comportamientos presentes en los sistemas no lineales, la descripción cualitativa alrededor de los puntos de equilibrio y los retratos de fase. La segunda parte del curso, se concentra en el estudio de estabilidad en el sentido de Lyapunov para sistemas autónomos y no autónomos. Finalmente, se presenta algunos enfoques para diseñar leyes de control para sistemas no lineales.

Al concluir el curso, el estudiante de Ingeniería Robótica será capaz de desarrollar controladores no lineales, caracterizar el comportamiento de los sistemas de control no lineal, demostrar la estabilidad del sistema en lazo cerrado y validar el diseño de diversos controladores no lineales. El conocimiento y herramientas de este curso le permitirá al estudiante cursar con éxito la asignatura de "Control IV".

**Relación con el perfil**

**Modular**

**De egreso**

En esta unidad de aprendizaje el alumno analizará sistemas de control no lineal, usando técnicas cualitativas. La unidad de aprendizaje es parte fundamental del módulo de Sistemas de Control y cubre la parte del diseño de sistemas de control no-lineal de dicho módulo.

El egresado podrá entender las no linealidades presentes en los sistemas dinámicos y trabajar con sistemas no lineales. Comprende y tiene la habilidad de decidir, desarrollar e implementar el controlador no lineal adecuado para un sistema determinado.

**Competencias a desarrollar en la UA o Asignatura**

**Transversales**

**Genéricas**

**Profesionales**

T1) Modela y analiza procesos y sistemas de control no-lineal.

T2) Identifica y propone soluciones a problemas de sistemas de control no lineal utilizando metodologías y conceptos matemáticos del área de control.

T3) Opera, desarrolla e implementa sistemas de control no lineal.

G1) Analiza, sintetiza y procesa la información de diversas fuentes (de clases, artículos, libros, internet).

G2) Identifica, propone y desarrolla alternativas de solución a diversos problemas de ingeniería de control.

G3) Adquiere y adapta nuevos conocimientos en forma colaborativa (trabajo en equipo).

P1) Entiende el funcionamiento de los diversos tipos de controladores no lineales.

P2) Decide qué tipo de controlador es el adecuado para controlar cierto proceso físico o para automatizar cierto proceso industrial dadas ciertas especificaciones.



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

<p>T4) Aprende nuevo conocimiento sobre el área de control de sistemas de manera independiente y autogestiva.</p>	<p>G4) Expresa correctamente opiniones, dudas e ideas de manera oral y escrita desde una perspectiva crítica y autocrítica.</p> <p>G5) Realiza y redacta reportes y/o trabajos de investigación de calidad.</p> <p>G6) Gestiona su propio aprendizaje.</p>	<p>P3) Realiza el diseño e implementación de distintos controladores de tipo no lineal.</p> <p>P4) Emplea herramientas computacionales en el diseño de leyes de control no lineal.</p>
---	--	--

## Saberes involucrados en la UA o Asignatura

Saber (conocimientos)	Saber hacer (habilidades)	Saber ser (actitudes y valores)
<p>C1) Reconoce los elementos básicos que constituyen a los sistemas de control no lineal.</p> <p>C2) Identifica distintos comportamientos presentes en los sistemas no lineales.</p> <p>C3) Analiza y describe matemáticamente el comportamiento de los sistemas no lineales.</p> <p>C4) Diseña y analiza sistemas de control no lineal.</p>	<p>H1) Identifica las no linealidades presentes en los sistemas.</p> <p>H2) Recopila información de algún problema específico en los sistemas de control no lineal.</p> <p>H3) Analiza el comportamiento dinámico de los sistemas no lineales.</p> <p>H4) Reconoce las características no lineales presentes en algunos sistemas dinámicos.</p> <p>H5) Aplica técnicas básicas para analizar los sistemas de control no lineal.</p> <p>H6) Aplica técnicas avanzadas para analizar los sistemas de control no lineal.</p> <p>H7) Diseña controladores no lineales para cumplir ciertas especificaciones.</p>	<p>V1) Participa y colabora de manera responsable y respetuosa en la clase y en equipos de trabajo.</p> <p>V2) Gestiona su propio aprendizaje.</p> <p>V3) Sabe escuchar, interpretar y emitir mensajes de manera clara.</p> <p>V4) Mantiene una actitud crítica y reflexiva sobre temas particulares y de interés general.</p> <p>V5) Asiste a clase y presenta las tareas asignadas con puntualidad.</p> <p>V6) Elabora y presenta trabajos orales y escritos de calidad.</p> <p>V7) Mantiene compromisos consigo mismo y sus compañeros para lograr sus metas en la asignatura.</p>

## Producto Integrador Final de la UA o Asignatura

**Título del Producto:** Portafolio de Evidencias

**Objetivo:** Recopilar tareas, reportes, exámenes, trabajos de investigación, elaborados por el estudiante con el fin de evaluar su desempeño académico a lo largo del ciclo escolar en curso.

**Descripción:**



## UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

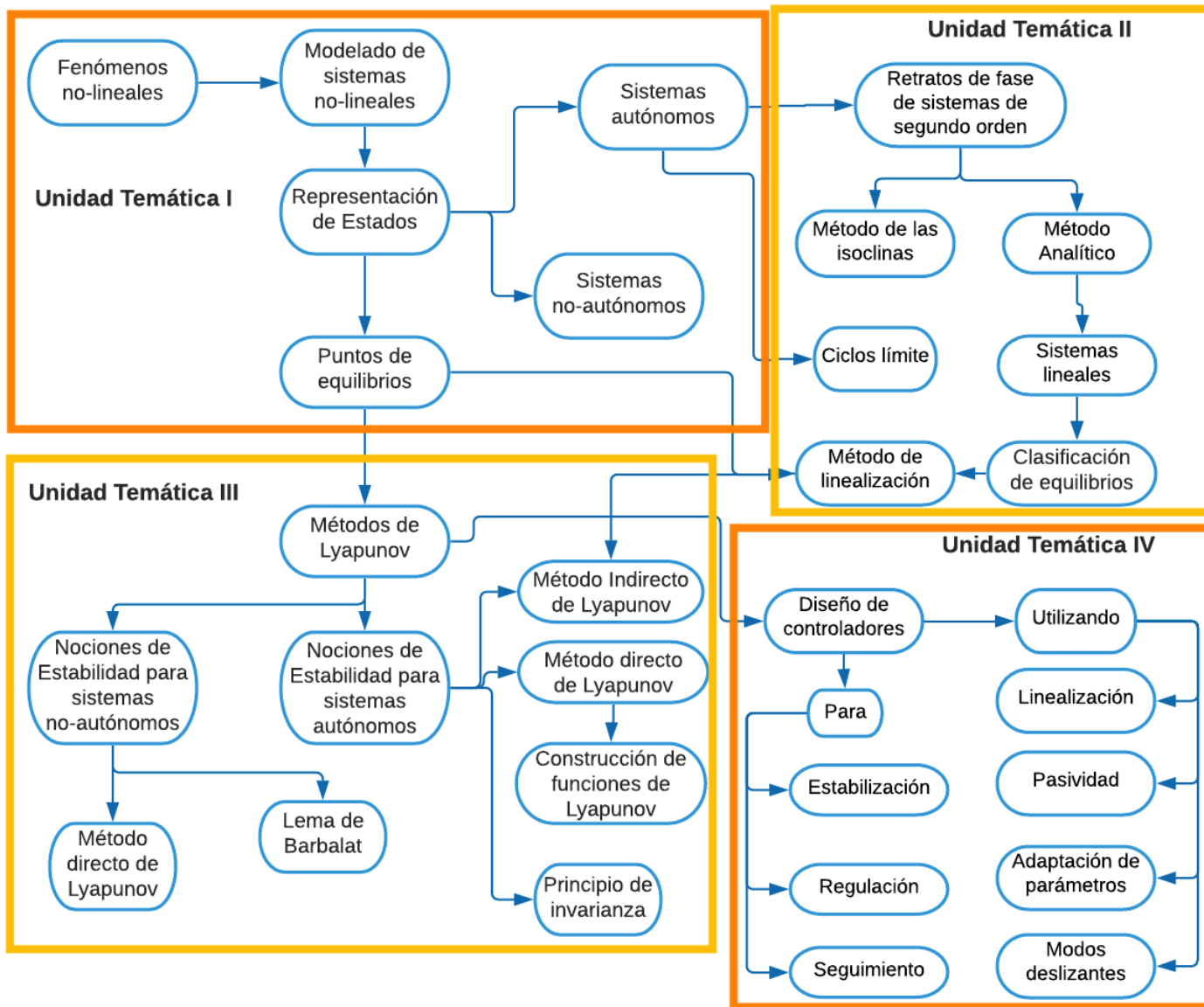
Portafolio de evidencias integrado por las diversas tareas, exámenes, trabajos de investigación y un proyecto que puede dividirse en varios reportes. Rubros elaborados por el estudiante a lo largo del ciclo escolar en curso. El portafolio estará dividido en cuatro rubros, cada uno contendrá los subproductos correspondientes.

Las tareas tienen una ponderación total de 24 %, el trabajo de investigación tienen una ponderación total de 3%, el proyecto tiene un valor de 13% y los exámenes tienen una ponderación total del 60 %. El trabajo de investigación puede formar parte del marco teórico del proyecto. El proyecto final está compuesto de cuatro desarrollos principales, tales desarrollos pueden desglosarse en cuatro reportes individuales o mantener los cuatro desarrollos en un único reporte final.

Las tareas, los reportes y trabajos finales se realizan y entregan por equipos. Los exámenes se presentan individualmente. Se realizan 3 exámenes a lo largo del curso: el primero tiene una ponderación de 4%, maneja solamente conceptos, tiene una duración de 15 a 30 minutos dependiendo si el examen es de opción múltiple u otro tipo; el segundo tiene una ponderación total de 26 %, maneja solamente ejercicios, tiene una duración de 2 horas, el tercero tiene una ponderación total de 30 %, tiene una duración de 2 horas, maneja preguntas abiertas de conceptos teóricos y de ejercicios. Los ejercicios realizados en las tareas, en los reportes y en los exámenes, se califican considerando metodología utilizada, respuesta obtenida y la coherencia de la metodología utilizada con la respuesta obtenida. La evaluación final del alumno se obtendrá de la suma total de los puntos acumulados de cada rubro.

En conjunto los cuatro rubros cubren satisfactoriamente todos los puntos de las competencias del curso a excepción de la expresión oral que será evaluada diariamente con la participación de los estudiantes. La entrega del portafolio de evidencias es obligatoria.

### 3. ORGANIZADOR GRÁFICO DE LOS CONTENIDOS DE LA UA O ASIGNATURA



4. SECUENCIA DEL CURSO POR UNIDADES TEMÁTICAS



**Unidad temática 1: Introducción a sistemas no lineales**

**Objetivo de la unidad temática:** Identificar las características que presentan los sistemas no lineales con el fin de entender los distintos comportamientos de naturaleza no-lineal, así como, modelar y representar dichos sistemas en el espacio de estados.

**Introducción:** La mayoría de los sistemas físicos presentan algún efecto no lineal que hacen que el modelo del sistema no pueda ser descrito por un modelo lineal. Para poder estudiar tales dinámicas no lineales de los sistemas físicos, se hacen una serie de consideraciones que permiten reducir, en muchos casos, tal análisis al caso de un sistema lineal. Sin embargo, lo anterior tiene tres desventajas. La primera es que la aproximación lineal de un sistema no lineal sólo es válida de manera local, dejando oculto el verdadero comportamiento del sistema. La segunda es que muchos sistemas no lineales no admiten una aproximación lineal. La tercera es que la omisión de los efectos no lineales en el diseño del controlador tiene como consecuencia un desempeño pobre y hasta indeseable del sistema controlado. Esta unidad temática se enfoca en dos aspectos importantes: mostrar diversos comportamientos que pueden aparecer en los sistemas no lineales; y modelar adecuadamente tales sistemas con el fin de poder analizar algunos comportamientos en el espacio de estados.

Contenido temático		Saberes involucrados		Producto de la unidad temática	
<b>1.1. Principales propiedades de los sistemas lineales de primer y segundo orden</b> <b>1.2. Modelo de estados para sistemas no lineales autónomos y no autónomos y puntos de equilibrio</b> <b>1.3. Tipos de funciones no lineales frecuentes</b> <b>1.4. Fenómenos en los sistemas no lineales</b> <b>1.5. Modelo de estados y determinación de equilibrios de diversos sistemas físicos no lineales</b>		1) Identifica las características de los sistemas no lineales. 2) Comprende el comportamiento no lineal en la dinámica de los sistemas. 3) Reconoce las no linealidades presentes en los sistemas. 4) Representa los sistemas no lineales en espacio de estados. 5) Obtiene puntos de equilibrio de los sistemas no lineales autónomos en espacio de estados.		Un Examen  Una Tarea:  A1- Modelado y determinación de puntos de equilibrios de diversos sistemas no lineales	
Actividades del docente	Actividades del estudiante	Evidencia de la Actividad	Recursos materiales y	Tiempo destinado	
Presenta el curso donde, se dan a conocer los objetivos, contenidos, competencias a desarrollar y criterios de evaluación y la dinámica de la clase	Toma notas de los aspectos más importantes y de los criterios de evaluación.	Apuntes de notas	Pintarrón, cañón y laptop y material bibliográfico	30 minutos	
Repasa las principales propiedades y comportamientos de los sistemas lineales de primer y segundo orden	Toma notas y participa en clase	Apuntes de notas	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 1.1.	1 hora y 30 minutos	



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

			Ligas pertinentes para consultar	
Introduce el modelo de estados para sistemas no lineales autónomos y no autónomos y define que son los puntos de equilibrios	Toma notas y participa en clase	Apuntes de notas	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 1.2.	30 minutos
Explica los tipos de funciones y fenómenos no lineales y hace una comparativa entre los sistemas lineales y no lineales	Toma notas y participa en clase	Apuntes de notas	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 1.3. y 1.4	1 hora y 30 minutos
Obtiene el modelo de estados de diversos sistemas físicos no lineales y determina puntos de equilibrios	Toma notas, participa en clase, elabora de ejercicios relativos al tema  Modela sistemas no lineales y calcula puntos de equilibrios	Apuntes de notas.  Tarea 1 sobre modelado y determinación de puntos de equilibrio de sistemas no lineales	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Ejercicios de modelado y cálculo de puntos de equilibrio en clase y tarea	4 horas y 30 minutos
Aplica examen de la unidad temática 1	Resuelve el examen de la unidad temática 1	Hoja de respuestas del examen	Pintarrón, hojas, calculadora	30 minutos

## Unidad temática 2: Técnicas básicas de análisis para sistemas no lineales (sistema de segundo orden)

**Objetivo de la unidad temática:** Estudiar cualitativamente a los sistemas no lineales de segundo orden a partir de sus puntos de equilibrio y de los retratos de fase con el propósito de conocer sus características y tipo de comportamiento.

**Introducción:** En esta unidad temática el alumno aprenderá las herramientas y métodos matemáticos básicos que permiten caracterizar el comportamiento de los sistemas no lineales. Se exponen diversas formas de construir el retrato de fase de un sistema no lineal. El retrato de fase permite visualizar el comportamiento global del sistema no lineal en el plano fase. Se explica la importancia que tiene la matriz Jacobiana al momento de describir el comportamiento cualitativo alrededor de los puntos de equilibrio del sistema no lineal y las limitaciones del método de linealización. Finalmente, se estudian brevemente a los sistemas dinámicos que exhiben ciclos límite.



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Contenido temático		Saberes involucrados	Producto de la unidad temática	
<p><b>2.1. Retratos de fase. Descripción y métodos de construcción.</b></p> <p>2.1.1 Método analítico</p> <p>2.1.2. Método de las Isoclinas</p> <p><b>2.2. Retratos de fase de los sistemas lineales de segundo orden y clasificación de los equilibrios en el plano fase</b></p> <p><b>2.3. Comportamiento cualitativo cerca de los puntos de equilibrio de sistemas no lineales de segundo orden</b></p> <p>2.3.1 Método de linealización y comportamiento local de sistemas no lineales en el plano fase</p> <p>2.3.2. Análisis de equilibrios por método de linealización y obtención del retrato de fase de diversos sistemas físicos</p> <p>2.3.4. Ciclos límite. Definición, Clasificación y Ejemplos de osciladores no lineales</p>		<p>1) Reconoce los sistemas de segundo orden</p> <p>2) Calcula la matriz Jacobiana para determinar el comportamiento de un punto de equilibrio.</p> <p>3) Conoce el retrato de fase y observa las trayectorias del sistema.</p> <p>4) Reconoce los ciclos límite en sistemas no lineales.</p> <p>5) Predice el comportamiento cualitativo de un sistema no lineal alrededor de un punto de equilibrio</p> <p>6) Utiliza software para representar el comportamiento de un sistema no lineal mediante su retrato de fase.</p>	<p>Un Examen</p> <p>Tres Tareas:</p> <p>A2- Retratos de fase utilizando el método analítico</p> <p>A3- Determinación de comportamiento cualitativo de los equilibrios de sistemas no-lineales utilizando el método de linealización</p> <p>A4- Análisis del comportamiento de un sistema no lineal que presenta un ciclo límite</p>	
Actividades del docente	Actividades del estudiante	Evidencia de la actividad	Recursos materiales y	Tiempo destinado
Describe el retrato de fase de sistemas de segundo orden en espacio de estados y los diferentes métodos	Toma notas y participa en clase,	Apuntes de notas. Tarea sobre retratos de fase utilizando el método analítico	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 2.1.	2 hora
Expone el retratos de fase de los sistemas lineales de segundo orden y clasificación de los equilibrios en el plano fase.	Toma notas, participa en clase, y elabora de ejercicios relativos al tema	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 2.2.	2 horas
Expone la construcción de la matriz jacobiana, así como los comportamientos esperados alrededor de un punto de equilibrio.	Toma notas, participa en clase, y elabora de ejercicios relativos al tema	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por	30 minutos





# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

			el profesor sobre el Tema 2.3.	
Analiza equilibrios por método de linealización y obtiene del retrato de fase de diversos sistemas físicos	Toma notas, participa en clase, elabora de ejercicios relativos al tema y realiza la tarea correspondiente	Apuntes de notas. Tarea para determinar el comportamiento cualitativo de los equilibrios de sistemas no lineales utilizando el método de linealización	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 2.3.	4 horas y 30 minutos
Expone y analiza los ciclos límite, realiza la simulación e identifica los ciclos límite. Determina las características de un oscilador no-lineal	Toma notas, participa en clase, elabora de ejercicios relativos al tema y realiza la tarea correspondiente	Apuntes de notas. Tarea sobre el análisis del comportamiento de un sistema no lineal que presenta un ciclo límite	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 2.3.	2 horas
Aplica examen de la unidad temática 2	Resuelve el examen de la unidad temática 2	Hoja de respuestas del examen	Pintarrón, hojas, calculadora	2 horas

## Unidad temática 3: Técnicas avanzadas de análisis para sistemas no-lineales: Métodos de Lyapunov

**Objetivo de la unidad temática:** Conocer y utilizar los métodos de Lyapunov como herramienta matemática en el análisis de la estabilidad de los puntos de equilibrio de los sistemas no lineales autónomos y no autónomos.

**Introducción:** Esta unidad temática se centra en el estudio de la estabilidad en el sentido de Lyapunov. Se presentan los métodos de Lyapunov como técnicas analíticas para demostrar la estabilidad de los puntos de equilibrio de los sistemas no lineales autónomos y no autónomos. Se brindan algunos métodos para proponer la función candidata de Lyapunov como el método basado en la energía del sistema y el uso de formas cuadráticas.

Contenido temático	Saberes involucrados	Producto de la unidad temática
3.1. Estabilidad en sentido de Lyapunov para sistemas autónomos 3.1.1. Definiciones de Inestabilidad y Estabilidad, Estabilidad exponencial y Estabilidad asintótica	1) Reconoce la diferencia entre un sistema inestable, estable y asintóticamente estable.	Un Examen Tres tareas:



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

<p><b>3.1.2. Nociones de estabilidad local y global</b></p> <p><b>3.2. Métodos de Lyapunov para sistema autónomos</b></p> <p><b>3.2.1. Método indirecto.</b></p> <p>3.2.1.1. Ventajas y desventajas del método. Ejemplos</p> <p><b>3.2.2. Método directo. Ventajas y desventajas</b></p> <p>3.2.2.2. Función definida positiva, semi-definida positiva, definida negativa y semi-definida negativa</p> <p>3.2.2.3. Primer Teorema de estabilidad para sistemas autónomos y Ejemplos de aplicación</p> <p>3.2.2.4. Segundo Teorema de estabilidad para sistemas autónomos y Ejemplos de aplicación</p> <p><b>3.2.3. Construcción de funciones de Lyapunov para sistemas de segundo orden</b></p> <p>3.2.3.1. Matrices definidas positivas y formas cuadráticas</p> <p>3.2.3.2. Otros métodos para construir funciones de Lyapunov</p> <p>3.2.3.3. Ejemplos</p> <p>3.2.4. El principio de invarianza y ejemplos de aplicación</p> <p>3.2.5. Teoremas de Inestabilidad</p> <p><b>3.3. Estabilidad en sentido de Lyapunov para sistemas no autónomos.</b></p> <p>3.3.1. Definiciones y ejemplos</p> <p><b>3.4. Métodos de Lyapunov para sistemas no autónomos</b></p> <p>3.4.1. Resultados importantes y ejemplos de aplicación</p> <p>3.4.2. Espacios <math>L_p</math> y Lema de Barbalat en el análisis de estabilidad. Ejemplos de aplicación en estabilidad</p>		<p>2) Propone funciones de Lyapunov para demostrar la estabilidad e inestabilidad de los sistemas autónomos de segundo orden</p> <p>3) Aplica el principio de invarianza para demostrar estabilidad asintótica.</p> <p>4) Conoce las principales estrategias para proponer funciones de Lyapunov.</p> <p>5) Propone funciones de Lyapunov para demostrar la estabilidad de los sistemas no autónomos.</p> <p>6) Aplica el lema de Barbalat para demostrar estabilidad asintótica de sistemas no autónomos.</p>	<p>A5-Análisis estabilidad sistemas no lineales autónomos empleando los métodos de Lyapunov y el principio de invarianza</p> <p>A6- Análisis de estabilidad sistemas no lineales no autónomos empleando los métodos de Lyapunov</p> <p>A7- Aplicación del Lema de Barbalat en el análisis de estabilidad de un sistema no autónomo</p>	
Actividades del docente	Actividades del estudiante	Evidencia o de la actividad	Recursos materiales y	Tiempo destinado
Expone los conceptos de estabilidad en el sentido de Lyapunov.	Toma notas.	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico.  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.1.	1 hora y 30 minutos
Expone las ventajas y desventajas del método indirecto de estabilidad en el sentido de Lyapunov y desarrolla un ejemplo.	Toma notas, participa en clase, elabora de ejercicios relativos al tema	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por	1 hora



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

			el profesor sobre el Tema 3.2.1.	
Expone las ventajas y desventajas del método directo de estabilidad en el sentido de Lyapunov. Define y da ejemplos de lo que es un función definida positiva, semi-definida positiva, definida negativa y semi-definida negativa	Toma notas, participa en clase, elabora de ejercicios relativos al tema	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.2.2.	1 hora
Expone el Primer Teorema de estabilidad para sistemas autónomos y da ejemplos de aplicación	Toma notas, participa en clase, elabora de ejercicios relativos al tema	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.2.2.	1 hora
Expone el Segundo Teorema de estabilidad para sistemas autónomos y da ejemplos de aplicación	Toma notas, participa en clase, elabora de ejercicios relativos al tema	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.2.2.	2 horas y 30 minutos
Expone las principales estrategias para proponer funciones de Lyapunov.	Toma notas, participa en clase y elabora ejercicios relativos al tema y realiza la tarea correspondiente.	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.2.3.	2 horas y 30 minutos



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

<p>Expone el principio de invarianza y muestra algunos ejemplos de aplicación.</p>	<p>Toma notas, participa en clase, elabora ejercicios relativos al tema</p>	<p>Apuntes de notas.</p>	<p>Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico</p> <p>Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.2.4.</p>	<p>1 hora y 30 minutos</p>
<p>Expone los teoremas de inestabilidad y desarrolla ejemplos</p>	<p>Toma notas, participa en clase, elabora ejercicios relativos al tema y realiza la tarea correspondiente.</p>	<p>Apuntes de notas.</p> <p>Tarea sobre la aplicación del método directo e indirecto de Lyapunov y el principio de invarianza para sistemas autónomos</p>	<p>Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico</p> <p>Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.2.5.</p>	<p>1 hora</p>
<p>Expone los conceptos de estabilidad en el sentido de Lyapunov para sistemas no autónomos y desarrolla ejemplos</p>	<p>Toma notas, participa en clase, elabora de ejercicios relativos al tema</p>	<p>Apuntes de notas.</p>	<p>Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico</p> <p>Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.3.</p>	<p>2 horas</p>
<p>Expone los principales resultados del método directo e indirecto de estabilidad en el sentido de Lyapunov para sistemas no autónomos y da ejemplos de aplicación</p>	<p>Toma notas, participa en clase, elabora ejercicios relativos al tema y realiza la tarea correspondiente.</p>	<p>Apuntes de notas.</p> <p>Tarea sobre la aplicación del método directo e indirecto de Lyapunov para sistemas no autónomos</p>	<p>Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico</p> <p>Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 3.4.1.</p>	<p>3 horas y 30 minutos</p>
<p>Expone los espacios <math>L_p</math> y Lema de Barbalat en el análisis de estabilidad. Y da ejemplos de aplicación en estabilidad.</p>	<p>Toma notas, participa en clase, elabora ejercicios relativos al tema y realiza la tarea correspondiente.</p>	<p>Apuntes de notas.</p> <p>Tarea sobre la aplicación del lema de Barbalat</p>	<p>Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico</p> <p>Diapositivas y/o Lecturas, creadas por</p>	<p>2 horas y 30 minutos</p>



			el profesor sobre el Tema 3.4.2.	
Aplica examen de la correspondiente unidad temática.	Resuelve el examen de la correspondiente unidad temática.	Hoja de respuestas del examen.	Pintarrón, hojas, calculadora	2 horas

**Unidad temática 4: Diseño de leyes de control para sistemas no-lineales**

**Objetivo de la unidad temática:** Analizar y diseñar controladores lineales y no lineales para sistemas no lineales autónomos y no autónomos.

**Introducción:** El comportamiento de un sistema no lineal puede modificarse a través de las señales de control para cumplir con alguna tarea de estabilización, regulación o seguimiento. El sistema en lazo cerrado tiene propiedades de estabilidad que pueden analizarse utilizando las herramientas matemáticas de las unidades anteriores. En esta unidad temática se estudian algunos enfoques para el diseño de controladores de sistemas no lineales de cualquier orden.

Contenido temático	Saberes involucrados	Producto de la unidad temática
<p><b>4.1. Control por retroalimentación de estados</b></p> <p>4.1.1. El problema de estabilización, de regulación y seguimiento</p> <p>4.1.4. Ejemplos</p> <p><b>4.2. Diseño del control utilizando el método de linealización</b></p> <p><b>4.3. Pasividad</b></p> <p>4.3.1. Pasividad de sistemas sin memoria y de sistemas dinámicos</p> <p>4.3.2. Ejemplos de sistemas pasivos de primer y segundo orden</p> <p>4.3.3. Relación entre Pasividad y estabilidad en el sentido de Lyapunov</p> <p>4.3.4. Pasividad y sistemas interconectados</p> <p><b>4.4. Control basado en Pasividad</b></p> <p>4.4.1. Diseño de control para estabilización</p> <p>4.4.2. Diseño de control para regulación</p> <p><b>4.5. Diseño de Control adaptable</b></p> <p>4.5.1. Control Adaptable basado en Modelo de Referencia</p> <p>4.5.2. Diseño de control para regulación con ley de adaptación</p> <p><b>4.6. Diseño de control por Modos Deslizantes</b></p> <p>4.6.1. Diseño de la superficie deslizante y de la ley de control</p>	<p>1) Conoce las tareas básicas del control</p> <p>2) Diseña controladores lineales para sistemas no lineales</p> <p>3) Diseña controladores no lineales a través de diversos enfoques</p> <p>4) Válida el diseño del controlador a partir de pruebas de estabilidad</p>	<p>Una Tarea:</p> <p>A8- Determinación de las propiedades de pasividad de sistemas no lineales</p> <p>Un Proyecto:</p> <p>Diseñar y validar diversos controladores para algunos sistemas no lineales</p> <p>Constituido de cuatro partes:</p> <p>Desarrollo 1- Diseño de control por linealización</p> <p>Desarrollo 2- Diseño de control basado en pasividad</p> <p>Desarrollo 3- Diseño de control adaptable</p> <p>Desarrollo 4- Diseño de control por modos deslizantes</p>



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Actividades del docente	Actividades del estudiante	Evidencia de la actividad	Recursos materiales y	Tiempo destinado
Expone las tareas básicas de control y el control por retroalimentación de estados	Toma notas, participa en clase y elabora ejercicios relativos al tema.	Apuntes de notas.	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico.  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 4.1.	1 hora y 30 minutos
Expone el diseño del control utilizando el método de linealización a través de ejemplos	Toma notas, participa en clase, elabora ejercicios relativos al tema y realiza el reporte correspondiente.	Apuntes de notas.  Desarrollo 1 del proyecto final sobre el diseño de control por linealización	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico.  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 4.2.	1 hora y 30 minutos
Expone el concepto de Pasividad y la relación que tiene con la estabilidad. Expone ejemplos de sistemas pasivos.	Toma notas, participa en clase y elabora ejercicios relativos al tema.	Apuntes de notas.  Tarea sobre pasividad y propiedades de sistemas pasivos	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico.  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 4.3.	4 horas
Expone el diseño del control basado en pasividad	Toma nota, participa en clase, elabora ejercicios relativos al tema y realiza el reporte correspondiente.	Apuntes de notas.  Desarrollo 2 del proyecto sobre el diseño de control basado en pasividad	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico.  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 4.4.	3 horas
Expone el diseño del control adaptable	Toma notas y participa en clase.	Apuntes de notas. Desarrollo 3 del proyecto sobre el	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico.	3 horas



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

		diseño de control adaptable	Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 4.5.	
Expone el diseño del control por modos deslizantes	Toma notas, participa en clase, elabora ejercicios relativos al tema y entrega el reporte correspondiente.	Apuntes de notas. Desarrollo 4 del proyecto sobre el diseño de control por modos deslizantes	Pintarrón, cañón y lap top y material bibliográfico  Diapositivas y/o Lecturas, creadas por el profesor sobre el Tema 4.6.	3 horas
Recibe y califica el proyecto del curso	Entrega y exposición del proyecto del curso	Archivo digital de proyecto del curso que contiene el diseño de distintas leyes de control para un sistema no lineal de segundo o tercer orden	Pintarrón, cañón y lap top.	6 horas



## 5. EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN

### Requerimientos de acreditación:

El alumno tendrá derecho al registro del resultado final de la evaluación en el período ordinario si tiene un mínimo de asistencia del 80% a clases y actividades registradas durante el curso. Además, debe entregar el Producto final. Para aprobar la Unidad de Aprendizaje el estudiante requiere una calificación mínima de 60.

### Criterios generales de evaluación:

Las tareas a entregar deben seguir los siguientes lineamientos básicos (más los específicos de cada trabajo):

- Entrega en tiempo
- Deben tener los datos de la Unidad de Aprendizaje, tema del reporte, alumno, profesor y fecha de entrega.
- Se entregan de manera individual.

Los reportes, trabajos de investigación y proyectos deben seguir los siguientes lineamientos básicos (más los específicos de cada trabajo):

- Entrega en tiempo
- Se entregan en equipos
- Diseño de portada con datos de la Unidad de Aprendizaje, tema de reporte, alumno, profesor y fecha de entrega.
- Deben tener siempre una introducción, un breve planteamiento del problema, un desarrollo y/o métodos utilizados, una presentación de resultados, una conclusión y referencias.
- La conclusión (según sea el caso debe rescatar) los principales aprendizajes. Todas las conclusiones de los reportes deben sustentarse en datos observados y/ o argumentos sólidos.
- Todas las referencias se citarán adecuadamente conforme al criterio APA
- Queda estrictamente prohibido el plagio.
- El proyecto también va acompañado de una exposición y defensa del mismo.

Los exámenes deben seguir los siguientes lineamientos básicos

- Presentados en tiempo
- Se realizan de manera individual
- Deben desarrollarse a lápiz

Todos los trabajos deben entregarse en hojas blancas y se deben utilizar ambos lados de las hojas.

Las presentaciones orales se evaluarán conforme a los siguientes rubros: Contenido suficiente, comprensión del contenido, dicción, volumen, apoyo visual y tiempo utilizado. Cuando se pida una presentación oral se entregará a los estudiantes una lista de elementos básicos que debe incluir.

### Evidencias o Productos





# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Evidencia o producto	Competencias y saberes involucrados	Contenidos temáticos	Ponderación
<p align="center"><b>Entrega de 8 tareas en equipos</b></p>	<p>Competencias involucradas:</p> <p>T1) Analiza sistemas no lineales.</p> <p>T2) Identifica el comportamiento cualitativo de un sistema utilizando metodologías y conceptos matemáticos del área de control.</p> <p>G1) Analiza, sintetiza y procesa la información de diversas fuentes (de clases, artículos, libros, internet).</p> <p>G2) Identifica, propone y desarrolla alternativas de solución a diversos problemas de ingeniería de control.</p> <p>G4) Expresa correctamente opiniones, dudas e ideas de manera oral y escrita desde una perspectiva crítica y autocrítica.</p> <p>G5) Realiza y redacta reportes y/o trabajos de investigación de calidad.</p> <p>G6) Gestiona su propio aprendizaje.</p> <p>Saberes involucrados:</p> <p>H1) Identifica los sistemas no lineales.</p> <p>H2) Recopila características de algún sistema no lineal en específico.</p> <p>H3) Analiza el comportamiento dinámico de sistemas no lineales.</p> <p>H4) Reconoce las propiedades de los diversos tipos de sistemas.</p> <p>H5) Distingue las diversas técnicas para analizar y diseñar los sistemas de control no lineal.</p> <p>H6) Examina las diversas técnicas para proponer funciones de Lyapunov.</p> <p>H7) Diseña controladores de tipo no-lineal, a partir del análisis de estabilidad.</p>	<p>Tarea 1- Modelado y determinación de puntos de equilibrios de sistemas no lineales</p> <p>Tarea 2- Retratos de fase utilizando el método analítico</p> <p>Tarea 3- Determinación del comportamiento cualitativo de los equilibrios de sistemas no-lineales utilizando el método de linealización</p> <p>Tarea 4- Análisis del comportamiento de un sistema no-lineal que presenta un ciclo límite</p> <p>Tarea 5- Aplicación del método directo e indirecto de Lyapunov y principio de invarianza para sistemas autónomos</p> <p>Tarea 6- Aplicación del método directo e indirecto de Lyapunov para sistemas no autónomos.</p> <p>Tarea 7- Aplicación del lema de Barbalat</p> <p>Tarea 8- Pasividad y propiedades de sistemas pasivos</p>	<p align="center"><b>24 %</b></p>



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

	<p>V5) Asiste a clase y presenta las tareas asignadas con puntualidad.</p> <p>V6) Elabora y presenta trabajos orales y escrito de calidad.</p>		
<p><b>3 exámenes</b></p>	<p>Competencias involucradas:</p> <p>T1) Modela y analiza sistemas no lineales.</p> <p>T2) Identifica y propone soluciones a problemas de sistemas de control no lineal.</p> <p>G2) Identifica, propone y desarrolla alternativas de solución a diversos problemas de ingeniería de control</p> <p>G4) Expresa correctamente opiniones, dudas e ideas de manera oral y escrita desde una perspectiva crítica y autocrítica.</p> <p>G6) Gestiona su propio aprendizaje.</p> <p>Saberes involucrados:</p> <p>H1) Identifica los sistemas de control de tipo no lineal.</p> <p>H2) Recopila información de algún problema específico en los sistemas de control no lineal.</p> <p>H3) Analiza el comportamiento dinámico de sistemas no lineales.</p> <p>H4) Reconoce las propiedades de los diversos tipos de controladores,</p> <p>H5) Distingue las diversas técnicas para analizar y diseñar los sistemas de control no lineal.</p> <p>H6) Distingue y aplica las diversas técnicas para analizar y diseñar los sistemas de control no lineal.</p> <p>H7) Diseña controladores de tipo no lineal.</p> <p>V3) Sabe escuchar, interpretar y emitir mensajes de manera clara.</p>	<p>Prueba rápida- Unidades temáticas 1</p> <p>Primer examen parcial- Unidades temáticas 2</p> <p>Segundo examen Parcial- Unidad Temática 3</p>	<p><b>60 %</b></p>



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

	<p>V4) Mantiene una actitud crítica y reflexiva sobre temas particulares y de interés general.</p> <p>V5) Asiste a clase y presenta las tareas asignadas con puntualidad.</p> <p>V6) Elabora y presenta trabajos orales y escritos de calidad.</p> <p>V7) Mantiene compromisos consigo mismo y sus compañeros para lograr sus metas en la asignatura.</p>		
<p><b>1 Proyecto</b></p>	<p>Competencias involucradas:</p> <p>T1) Modela y analiza sistemas no lineales.</p> <p>T2) Identifica y propone soluciones a problemas de sistemas de control no lineal.</p> <p>T3) Opera, desarrolla e implementa sistemas de control no lineal.</p> <p>T4) Opera, desarrolla e implementa análisis de estabilidad de sistemas no lineales.</p> <p>T5) Aprende nuevo conocimiento sobre el área de control de sistemas de manera independiente y autogestiva.</p> <p>G1) Analiza, sintetiza y procesa la información de diversas fuentes (de clases, artículos, libros, internet).</p> <p>G2) Identifica, propone y desarrolla alternativas de solución a diversos problemas de ingeniería de control</p> <p>G3) Adquiere y adapta nuevos conocimientos en forma colaborativa (trabajo en equipo)</p>	<p>Proyecto final- Unidad Temática 4</p> <p>Compuesto de cuatro partes:</p> <p>Desarrollo 1- Diseño de control por linealización</p> <p>Desarrollo 2- Diseño de control basado en pasividad</p> <p>Desarrollo 3- Diseño de control adaptable</p> <p>Desarrollo 4- Diseño de control por modos deslizantes</p>	<p><b>13 %</b></p>



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

	<p>G4) Expresa correctamente opiniones, dudas e ideas de manera oral y escrita desde una perspectiva crítica y autocrítica.</p> <p>G5) Realiza y redacta reportes y/o trabajos de investigación de calidad.</p> <p>G6) Gestiona su propio aprendizaje.</p> <p>Saberes involucrados:</p> <p>H4) Reconoce las propiedades de los diversos tipos de controladores,</p> <p>H5) Distingue las diversas técnicas para analizar y diseñar los sistemas de control no lineal.</p> <p>H6) Examina las diversas técnicas para analizar y diseñar los sistemas de control no lineal.</p> <p>H7) Diseña controladores de tipo no lineal.</p> <p>V1) Participa y colabora de manera responsable y respetuosa en equipos de trabajo</p> <p>V4) Mantiene una actitud crítica y reflexiva sobre temas particulares y de interés general.</p> <p>V6) Elabora y presenta trabajos orales y escritos de calidad.</p> <p>V7) Mantiene compromisos consigo mismo y sus compañeros para lograr sus metas en la asignatura.</p>		
Producto final			
Descripción		Evaluación	
<b>Título:</b> Portafolio de Evidencias		<p><b>Criterios de fondo:</b> El portafolio de evidencias debe cumplir con los siguientes lineamientos de fondo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cada rubro del portafolio contendrá las tareas, reportes, trabajos de Investigación, proyecto y exámenes realizados y/o entregados por el estudiante y deberán estar ordenados de manera cronológica.</li> </ul>	<b>Ponderación</b>
<b>Objetivo:</b> Recopilar tareas, reportes, exámenes, trabajos de investigación, elaborados por el estudiante con el fin de evaluar su desempeño académico a lo largo del ciclo escolar en curso.			<b>0%</b>
<b>Caracterización:</b> Portafolio de evidencias integrado por las diversas tareas, exámenes, trabajos de investigación y un proyecto que puede dividirse en varios reportes. Rubros elaborados por el estudiante a lo largo del ciclo			



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

escolar en curso. El portafolio estará dividido en cuatro rubros, cada uno contendrá los subproductos correspondientes.

Las tareas tienen una ponderación total de 24 %, el trabajo de investigación tienen una ponderación total de 3%, el proyecto tiene un valor de 13% y los exámenes tienen una ponderación total del 60 %. El trabajo de investigación puede formar parte del marco teórico del proyecto. El proyecto final está compuesto de cuatro desarrollos principales, tales desarrollos pueden desglosarse en cuatro reportes individuales o mantener los cuatro desarrollos en un único reporte final.

Las tareas, los reportes y trabajos finales se realizan y entregan por equipos. Los exámenes se presentan individualmente. Se realizan 3 exámenes a lo largo del curso: el primero tiene una ponderación de 4%, maneja solamente conceptos, tiene una duración de 15 a 30 minutos dependiendo si el examen es de opción múltiple u otro tipo; el segundo tiene una ponderación total de 26%, maneja solamente ejercicios, tiene una duración de 2 horas, el tercero tiene una ponderación total de 30 %, tiene una duración de 2 horas, maneja preguntas abiertas de conceptos teóricos y de ejercicios. Los ejercicios realizados en las tareas, en los reportes y en los exámenes, se califican considerando metodología utilizada, respuesta obtenida y la coherencia de la metodología utilizada con la respuesta obtenida. La evaluación final del alumno se obtendrá de la suma total de los puntos acumulados de cada rubro.

En conjunto los cuatro rubros cubren satisfactoriamente todos los puntos de las competencias del curso a excepción de la expresión oral que será evaluada diariamente con la participación de los estudiantes o con la presentación del proyecto final. La entrega del portafolio de evidencias es obligatoria.

- Los trabajos no entregados en tiempo no formarán parte del portafolio y tendrán calificación asignada de cero.
- Cada uno de los trabajos debe satisfacer los lineamientos de los **criterios generales de la evaluación** establecidos arriba.
- La evaluación final del alumno se obtendrá de la suma total de los puntos acumulados en cada rubro.

### Criterios de forma:

El portafolio de evidencias debe cumplir con los siguientes lineamientos de forma

- Entrega en tiempo: Se entregará el último día del ciclo escolar ordinario.
- Debe tener una portada con datos de la Unidad de Aprendizaje, tema de reporte: portafolio de evidencias, alumno, profesor y fecha de entrega.
- Debe tener un índice con los rubros correspondientes: Tareas, Reportes, trabajos de Investigación, proyecto y exámenes.
- Debe entregarse en un folder o carpeta sin engargolar.

Otros criterios		
Criterio	Descripción	Ponderación
Participación	Participación activa en clase e interés de las intervenciones.	0%
Trabajos de Investigación	Asignación de temas selectos de interés para el alumno asignados por el profesor y que pueden formar parte del marco teórico del proyecto	3 %
Asistencia	Asistencia regular a clases	0 %



<b>6. REFERENCIAS Y APOYOS</b>				
<b>Referencias bibliográficas</b>				
<b>Referencias básicas</b>				
<b>Autor (Apellido, Nombre)</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Editorial</b>	<b>Enlace o biblioteca virtual donde esté disponible (en su caso)</b>
Slotine, J.J. y Li, W	1991	Applied Nonlinear Control	Englewood Cliffs, Prentice Hall	
Vidyasagar M.	1993	Nonlinear Systems Analysis.	Englewood Cliffs. Prentice Hall. 2da edición	
Hassan, K.K.	2002	Nonlinear systems	Prentice Hall. 3ra edición	
<b>Referencias complementarias</b>				
Ortega, R., Pérez, J.A.L., et al.	2013	Passivity-based control of Euler-Lagrange systems: mechanical, electrical and electromechanical applications.	Science Springer & Business Media	
Van Der Schaft, A.J.	2000	L2-gain and passivity techniques in nonlinear control.	Springer	



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

<b>Apoyos (videos, presentaciones, bibliografía recomendada para el estudiante)</b>				
<p><b>Unidad temática 1:</b> Para reforzar modelado y propiedades de sistemas lineales: <a href="http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/1806/1/DINAMICA%20DE%20SISTEMAS.pdf">http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/1806/1/DINAMICA%20DE%20SISTEMAS.pdf</a></p>				
<p><b>Unidad temática 2:</b></p>				
<p><b>Unidad temática 3:</b> Idea básica sobre la cual se fundamenta el segundo método de Lyapunov (vídeo) <a href="https://youtu.be/Jkr5XR29eAc">https://youtu.be/Jkr5XR29eAc</a></p>				
<p><b>Unidad temática 4:</b></p>				