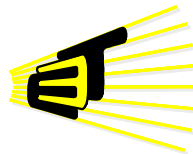


**DESARROLLO DE OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA LA
ASIGNATURA SISTEMAS DE CONTROL, ESTRUCTURADA
BAJO EL ENFOQUE DE COMPETENCIAS.**

**Elaborado por:
HERNÁN DAVID ESCOBAR ESCOBAR
CARLOS ANDRÉS FERNÁNDEZ CORREA**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y DE TELECOMUNICACIONES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2009**

**DESARROLLO DE OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA LA
ASIGNATURA SISTEMAS DE CONTROL, ESTRUCTURADA
BAJO EL ENFOQUE DE COMPETENCIAS.**

Elaborado por:

**HERNÁN DAVID ESCOBAR ESCOBAR
CARLOS ANDRÉS FERNÁNDEZ CORREA**

**Este proyecto es presentado como requisito para optar
al título de Ingeniero Electrónico**

Director

DR. RODOLFO VILLAMIZAR MEJÍA

Codirector

MPE. WILSON GIRALDO PICÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2009

DEDICATORIA

*At Dios mi amigo fiel, por caminar a mi lado en los buenos momentos
y llevarme cargado en los malos.*

At Maria Auxiliadora por las bendiciones recibidas.

*At mis padres por el apoyo incondicional, por estar ahí cuando los
necesité. Sin ellos no habría alcanzado esta meta.*

At mis hermanos por la motivación de seguir adelante.

*At mi novia Nohora Stella, por apoyarme y comprenderme, por estar
conmigo en todo momento.*

*At toda mi familia y amigos que de alguna manera hicieron posible este
sueño.*

Hernán David

Este logro se lo dedico a:

Primero que todo a Dios por ser mi guía espiritual y por haberme dado el privilegio de ser parte de la familia a la cual pertenezco.

A mi mamá Cecilia Correa, quien sacrifico todo por ver mi sueño realizado, mujer de nobles principios que me apoyo durante todos estos años y estuvo junto a mí cuando más la necesite y lo más importante de todo siempre creyó en mí, a ti mamá te dedico este logro en mi vida, te mereces el cielo y la tierra por ser quien eres GRACIAS MAMÁ.

A mi papá Carlos Fernández, por su paciencia durante estos años quien pese a las adversidades nunca me retiro su apoyo, yo se que desde lejos siempre estuvo pendiente y ahora es un hecho papá lo logramos GRACIAS PAPÁ.

A mi hermana Danna Sofía Fernández, quien es todo para el “pig”, ella entenderá cuando lea estas palabras, la quiero y la admiro muchísimo por su espontaneidad y esa forma de ser tan única que la caracteriza. Yo se que tu vas a ser grande hermanita linda.

A mi abuelita María Inés Carreño que más que una abuela fue mi segunda mamá, siempre entrego todo sin esperar recibir nada a cambio convirtiéndose para mí en la mujer más noble y tierna que pueda existir, tratándome como a un hijo más, la quiero y admiro muchísimo abuela, GRACIAS INFINITAS.

Carlos Andrés

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A **Dios** por darnos la fortaleza y sabiduría para seguir adelante y culminar satisfactoriamente este trabajo.

A **Rodolfo Villamizar Mejía**, director de este trabajo de grado, quien nos brindó su amistad, confianza, experiencia, calidad profesional y humana para el desarrollo exitoso del mismo.

A **Wilson Giraldo Picón**, codirector de este proyecto, por su constante apoyo, confianza, entrega, preocupación, sinceridad y aportes, que constituyen los cimientos de este trabajo.

A **Cecilia Correa** por la paciencia y el apoyo incondicional que nos permitió alcanzar esta meta.

A los docentes de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones por tan loable labor como guías en nuestro proceso de formación integral y por compartir su conocimiento y experiencia.

A nuestros amigos y compañeros por los momentos compartidos y el apoyo brindado para alcanzar tan anhelada meta.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron con la realización de este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander, por la oportunidad de recibir una educación de la más alta calidad permitiéndonos crecer como personas.

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA LA ASIGNATURA SISTEMAS DE CONTROL, ESTRUCTURADA BAJO EL ENFOQUE DE COMPETENCIAS*

Autores: Hernán David Escobar Escobar – Carlos Andrés Fernández Correa**

Palabras clave: Diseño Instruccional, Objetos de Aprendizaje, Guión Multimedia, Guías de Laboratorio, Pre-práctica, Práctica, Post-práctica.

Descripción:

A lo largo del ejercicio de la actividad pedagógica, se ha evidenciado que los estudiantes apropian conocimientos de diferente manera. De ahí la necesidad de diseñar nuevas y variadas herramientas que sean un recurso adicional en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Dichas herramientas deben ser integradas al esquema de enseñanza actual con el fin de permitir una mayor comprensión de los temas expuestos en clase.

En la Universidad Industrial de Santander, profesores y estudiantes conscientes de tal necesidad, han venido desarrollando trabajos de grado sobre el diseño instruccional para diferentes asignaturas, con el fin de identificar los objetos de aprendizaje tal que sean una herramienta alternativa y complementaria en el proceso de formación. Concretamente, para la asignatura Sistemas de Control de los programas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, se desarrolló en el proyecto de grado [1] por los Ingenieros Edgar Fabianny Ramírez y Fredy Omar Ayala en el que se identificaron los objetos de aprendizaje.

El presente proyecto toma como base para su desarrollo estos objetos, con el propósito de diseñar y elaborar guiones multimedia que sustenten la estructura digital de los objetos de aprendizaje y elaborar guías orientadoras de realizaciones prácticas que coadyuven en la apropiación de los conceptos presentados en la teoría.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Trabajo dirigido por el profesor Rodolfo Villamizar Mejía, Doctor en Tecnologías de la Información.

SUMMARY

TITLE: DEVELOPMENT OF LEARNING OBJECTS FOR THE SUBJECT “CONTROL SYSTEMS”, STRUCTURED UNDER THE APPROACH OF COMPETENCES*

Authors: Hernán David Escobar Escobar – Carlos Andrés Fernández Correa**

Keywords: Instructional Design, Learning Objects, Multimedia Scripts, Laboratory Guides, Pre-practice, Practice, Post-practice.

Description:

Along the exercise of the pedagogic activity, it has been demonstrated that students adapt knowledge in different ways. This arise the need to design new and varied tools that will be an additional resource in the teaching-learning process. These tools must be integrated into the current teaching scheme in order to allow a major understanding of the topics exposed in class.

In the Industrial University of Santander, teachers and students conscious of such a need, have been developing undergraduate projects on the instructional design for different subjects, in order to identify learning objects that are an alternative and complementary tool in the formation process. Concretely, for the Control Systems subject of the Electrical and Electronic Engineering programs, it was developed in the undergraduate project [1] by Engineers Edgar Fabiany Ramirez and Fredy Omar Ayala in which the learning objects were identified.

The present project takes these objects as a base for its development, in order to design and elaborate multimedia scripts that sustain the digital structure of the learning objects and to elaborate guides that orient the practical realizations that contribute in the appropriation of the concepts presented in the theory.

* Undergraduate project

** Physical – mechanical Engineering Faculty. Electrical, Electronic and Telecommunications School.
Advisor: Rodolfo Villamizar Mejía, Doctor in Information Technologies.

TABLA DE CONTENIDO

1.	MARCO TEÓRICO.....	16
1.1	OBJETOS DE APRENDIZAJE.....	16
1.2	GUIÓN MULTIMEDIA.....	17
1.2.1	Guión Técnico.....	18
1.2.2	Guión Didáctico.....	19
1.2.3	<i>Storyboard</i>	20
1.3	PROYECTO DE GRADO: DISEÑO INSTRUCCIONAL DE UN PROGRAMA DE FORMACIÓN POR COMPETENCIAS PARA LA ASIGNATURA DE SISTEMAS DE CONTROL I [1] 21	
1.4	ANTECEDENTES.....	22
1.4.1	“Diseño y producción de objetos de aprendizaje para la asignatura Tratamiento de Señales Discretas mediante un programa de formación basado en competencias y mediado por tecnologías de información y comunicación” [6].	22
1.4.2	“Diseño y producción de los objetos de aprendizaje que implementan el currículo de la asignatura "Tratamiento de Señales Continuas" para un programa de formación basado en competencias y mediado por tecnologías de información y comunicación” [7].	23
2.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	24
2.1	DOCUMENTACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS	24
2.1.1	Trabajo de referencia. [1]	24
2.1.2	Otra documentación revisada.....	25
2.2	DISEÑO Y ELABORACIÓN DE GUIONES	26
2.3	ELABORACIÓN DE LOS RECURSOS NO DIGITALES	29
2.3.1	Derrotero	29
2.3.2	Pre-práctica	30
2.3.3	Práctica.....	34
2.3.4	Post-práctica.....	36
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
3.1	CONCLUSIONES.....	37
3.2	RECOMENDACIONES.....	38
	BIBLIOGRAFÍA.....	39
	ANEXOS.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Guión Técnico	26
Figura 2 Guión Didáctico	27
Figura 3 Presentación en pantalla: USUARIO.....	28
Figura 4 Presentación en pantalla: PLATAFORMA.....	28
Figura 5 Encabezado guías de laboratorio.....	29
Figura 6 Derrotero de las guías de laboratorio	30
Figura 7 Información del sistema físico a controlar	30
Figura 8 Propósitos guías de laboratorio	31
Figura 9 Recomendaciones para la práctica	31
Figura 10 Información específica sobre el sistema	32
Figura 11 Funciones de Matlab	32
Figura 12 Bibliografía para la Práctica.....	33
Figura 13 Tipos de preguntas Prueba Diagnóstica	34
Figura 14 Pre-saberes (Contenidos Temáticos).....	35
Figura 15 Competencias (Haceres).....	35
Figura 16 Procedimiento para la Práctica.....	36
Figura 17 Informe Post-práctica	36

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CODIFICACIÓN DISEÑO INSTRUCCIONAL.....	42
ANEXO B. GUIÓN MULTIMEDIA.....	44
ANEXO C. DERROTERO	56
ANEXO D. GUÍA “MODELADO DE UN SISTEMA FÍSICO”	63
ANEXO E. GUÍA “IDENTIFICACIÓN DE UN SISTEMA FÍSICO”	74
ANEXO F. GUÍA “ANÁLISIS EN EL TIEMPO”	85
ANEXO G. GUÍA “ESTABILIDAD DE SISTEMAS”	98
ANEXO H. GUÍA “ANÁLISIS EN FRECUENCIA. LUGAR DE LAS RAÍCES”	108
ANEXO I. GUÍA “ANÁLISIS EN FRECUENCIA. TRAZAS DE BODE, NYQUIST Y NICHOLS”	120
ANEXO J. GUÍA “DISEÑO DE CONTROLADORES DE LA FAMILIA PID”	131
ANEXO K. GUÍA “DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO- ATRASO”	141
ANEXO L. GUÍA “DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO- ATRASO”	153

INTRODUCCIÓN

A través del desarrollo de la educación se ha venido encontrando que no todos los estudiantes asimilan los conocimientos de igual manera. Con el paso del tiempo, se han diseñado herramientas complementarias que se integran al proceso de enseñanza-aprendizaje, haciendo que el estudiante cuente con un recurso adicional que le permita una mayor comprensión de las temáticas expuestas en clase.

Es por esto que la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS), ha venido desarrollando trabajos de grado [1] basados en el diseño instruccional bajo la visión de las competencias para las asignaturas de pregrado, con el propósito de identificar y elaborar objetos de aprendizaje, que proporcionen recursos alternativos y complementarios en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Parte de esta propuesta de cambio que la Universidad viene desarrollando se debe a la búsqueda y consecución de elementos que dinamicen y flexibilicen los procesos de formación del siglo XXI, en procura de sostener la calidad de la educación a través de un permanente mejoramiento continuo.

En marco de este mejoramiento continuo, la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones ha encontrado excelentes resultados en la implementación e implantación de nuevos esquemas educativos a través del desarrollo de proyectos de grado. Uno de estos trabajos de grado es el de Edgar Fabianny Ramírez y Fredy Omar Ayala¹, en el que se realiza la estructuración modular de la asignatura Sistemas de Control y se identifican las actividades de enseñanza-aprendizaje por afinidad conceptual, las unidades de aprendizaje y la planeación curricular. Como resultado de este se identifican los objetos de aprendizaje: análisis en el tiempo, análisis en frecuencia, estabilidad, ubicación de polos, lugar de las raíces, diagrama de Bode.

Dichos objetos de aprendizaje son el punto de partida del presente proyecto en el que incluirá el diseño y elaboración de guiones². El propósito es sustentar la producción de las herramientas que soporten todas las actividades propuestas, creando un derrotero para los estudiantes dentro de los objetos. Adicionalmente, se diseñan y elaboran guías³ para la apropiación práctica de los contenidos de la asignatura.

¹ "Diseño instruccional de un programa de formación por competencias para la asignatura de Sistemas de Control I". Edgar Fabianny Ramírez Millan, Fredy Omar Ayala Rivera. Dir. Rodolfo Villamizar Mejía.

² Entendidos los guiones como un documento que especifica y sustenta la estructura digital de los objetos de aprendizaje.

³ Entendidas las guías como un documento que especifica la estructura no digital de los objetos de aprendizaje.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 OBJETOS DE APRENDIZAJE

Según el estándar de el IEEE para objetos de aprendizaje⁴, un objeto está definido como una “entidad, digital o no digital, que puede ser usada para la enseñanza, educación o entrenamiento”.

La formación no se ciñe a un espacio y tiempo determinado, sino que exige mantener cierta capacidad de aprendizaje a lo largo de toda la vida (long-life learning) [2]. Con la creación de objetos de aprendizaje se están promoviendo materiales educativos de gran impacto para la sociedad y atractivos para el estudiante. Se puede ofrecer a los estudiantes interacción entre sí y con los profesores encargados de dirigir la asignatura, con la intención de propiciar el desarrollo de competencias cognitivas y de comprensión de la información, así como competencias procedimentales y actitudinales.

La característica más notable de los objetos de aprendizaje es su reutilización que se logra teniendo un diseño, desarrollo y documentación que aseguren una alta calidad del producto. Se deben poder aprovechar los contenidos que han desarrollado otras personas para obtener nuevos recursos.

Los objetos de aprendizaje se diseñan para:

- “Motivar el autoaprendizaje.
- Desarrollar el análisis y la reflexión.
- Mecanismos para aclaración de dudas.
- Herramientas para diálogo simulado.
- Mecanismos de control y evaluación.”[13]

“Conviene además tener en cuenta los criterios de diseño y las posibilidades que ofrece la educación por Internet (e-learning) y en ningún momento olvidar que el objeto de aprendizaje finalmente debe operar en este medio, y por lo mismo hay que aprovechar las posibilidades que brinda.

⁴ IEEE 1484.12.1-2002 Draft Standard for Learning Object Metadata, Copyright © 2002 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Algunos criterios de diseño con base en las propiedades y capacidades que ofrece Internet:

- **Organización de la información:** Tener claro el tema a tratar y a partir de éste establecer la organización más adecuada para la presentación del tema.
- **Aspectos motivacionales:** Despertar en el estudiante el interés, la curiosidad, el desafío y la acción.
- **Interactividad:** Poder actuar con otros y sobre el contenido.
- **Multimedia:** Aprovechar la convergencia de los diferentes medios de presentación del contenido.
- **Navegabilidad:** La posibilidad de pasar, subir, bajar, avanzar o retroceder como si se tratara de las páginas de un documento con presencia material.
- **Interfaz:** Tomar en cuenta las recomendaciones de diseño (colores, tipografía, uso de dibujos, imágenes, fotografías, animaciones, simulaciones, etc.) según el público objetivo, el tema tratado y el entorno de uso del objeto.
- **Usabilidad:** Que se puedan emplear fácilmente. Que se disponga de las herramientas que se necesitan para trabajar con el objeto.
- **Accesibilidad:** Que sea fácil ingresar, salir y re-ingresar al contenido.”[14]

1.2 GUIÓN MULTIMEDIA

“Es un escrito que contiene detalladamente qué es lo que se quiere mostrar en la pantalla del computador, celular o consolas de juego. En el guión se escribe como va a ser cada “presentación en pantalla”, eso es lo que se va a ver cada vez que se interactúe con el entorno. Se debe escribir todo, como van a ser los fondos, botones, sonidos, fotografías, colores, tipo y color de letra, y donde va a estar situado todo.”[12] Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos para que el guión cumpla su objetivo:

- Todo debe estar muy bien organizado, para que se entienda como debe quedar el producto final.
- La multimedia debe ser interactiva, es decir, “que el usuario tenga la oportunidad de ver algo diferente e interactúe con ello. Se debe detallar absolutamente todo, para no tener que volver a repetir información.”[12]
- “Lograr una exitosa integración de imagen, sonido, video y ambiente.”[12]
- Se debe entretener al usuario para que pueda aprender lo que se le está mostrando.

Para escribir un guión multimedia se deben realizar:

- **El guión técnico:** Detalla la ambientación de la multimedia.
- **El guión didáctico:** “Se escriben la introducción, objetivos, justificación, contenidos que se traten, una breve descripción de lo que se va a mostrar, enfoque, destinatario, programas que se utilizarán, bibliografías.”[12]
- **Storyboard:** “Aquí se muestra por imágenes o dibujos como debe quedar cada presentación en pantalla.”[12]

1.2.1 Guión Técnico

Este guión tiene los siguientes componentes:

“Título: Cada presentación en pantalla debe tener un nombre propio para distinguirse de los demás.”[12] Si por ejemplo la presentación principal tiene pantallas adjuntas se debe ser claro en esto.

“Los fondos: Se debe escribir el nombre del archivo con su respectiva extensión, para no poner otra imagen, y el programa en que será desarrollado.

Los botones: Se describe el color, textura y su estado.

- **Reposo:** Es cuando está inactivo, el mouse no pasa por encima de él.

- **Sobre:** Es cuando el mouse esta encima del botón, debe cambiar su apariencia.
- **Presionado:** Es cuando se da clic en él, también debe cambiar su aspecto, tiene que dar la impresión que lo estamos oprimiendo. Se debe guardar cada botón con nombres diferentes y su extensión para no confundirlos respecto a su estado y en que presentación en pantalla debe ir.

Los sonidos: Esta será la banda sonora de cada presentación en pantalla, si el ambiente tiene música. Si los botones tienen sonido, y en qué estado va a sonar el botón, cuando está en reposo, sobre o presionado. En algunas multimedias no se quiere que siempre haya música; se debe dar la opción al usuario de parar o seguir escuchando.

Los gráficos: Si se van a utilizar imágenes, estas deben referenciarse con nombre y extensión. Si no es una imagen propia o es tomada de alguien o de un sitio de Internet, se tiene que escribir su fuente.

El texto: Si lleva texto se debe escribir su fuente, tipo, color y tamaño.

Las acciones: Aquí se escriben las acciones que tendrá cada presentación en pantalla, por ejemplo, si se va a guardar cada usuario que ingresó; la interactividad de los botones; si se apaga o se coloca la música o si se dirige a otra presentación; si hay una navegación con botones o áreas sensibles. Los guiones técnicos la mayoría de las veces se hacen en cuadros o tablas para su mejor comprensión y organización.”[12]

1.2.2 Guión Didáctico

El guión didáctico muestra un resumen del material de multimedia y debe ser más descriptivo en explicar por qué se realizó y para qué. “Tiene como objetivo transmitir detalladamente la información o en este caso, la precisión del tipo de interacción que se pretende potenciar con los alumnos” [3].

“Elaborar los guiones literarios y técnicos para multimedia implica un proceso muy similar al de la producción cinematográfica y televisiva; sin embargo el que elabora el guión para multimedia debe siempre pensar en los conceptos de interactividad y navegación” [4].

Para realizar un guión didáctico se deben tener algunos aspectos claros, como:

- “¿Por qué se eligió hacer esta multimedia?
- ¿Para qué se va a realizar?
- ¿Cuál va a ser su función?
- ¿A quién va dirigido?
- ¿Cómo se puede hacer más interactivo?
- Tener un tema claro.
- Una sinopsis de lo que se quiere hacer.”[10]

Las partes básicas del guión didáctico son:

- **Introducción:** Describe para qué y por qué se realiza la multimedia; lo que se quiere o pretende lograr y su respectiva navegación. Todo se escribe de manera introductoria ya que a lo largo del guión se describirán estos temas con mayor detalle.
- **Objetivos:** “Se debe escribir lo que se quiere lograr, cuáles son las metas a partir de la multimedia, cuál va a hacer la función del público, así como la manera en que se van a acercar y atraer con la multimedia.”[10]
- **Características:** Se describen las ventajas de la multimedia, por qué debe realizarse y cómo se logra la interactividad.
- **Contenido:** Es la parte más importante del guión didáctico, “se debe escribir en primera persona, como si se estuviera navegando en la multimedia. A su vez se debe ir describiendo todo lo que se vería en la pantalla.”[10]
- **Bibliografía:** Todo lo escrito, imágenes, videos, sonidos, colores que no sean originales, debe ser referenciado.

1.2.3 **Storyboard**

Para poder realizar el *storyboard* es necesario contar con el guión técnico y el guión didáctico, porque se debe tener claridad en cuanto a lo que se quiere realizar.

“El *storyboard* es llevar gráficamente un guión; muestra el resultado final de lo que se va a realizar; se tiene una idea global y gráfica y se acerca

a cómo se vería en el computador, consola, celular u objeto multimedia donde se va a desarrollar.”[11]

Está basado en el guión técnico, “todo lo que dice allí se lleva a la parte gráfica, pero sin las animaciones ni efectos, solo la imagen, para saber cómo quedará distribuido el producto final.”[11]

1.3 PROYECTO DE GRADO: DISEÑO INSTRUCCIONAL DE UN PROGRAMA DE FORMACIÓN POR COMPETENCIAS PARA LA ASIGNATURA DE SISTEMAS DE CONTROL I [1]

El trabajo de grado de Edgar Fabianny Ramírez y Fredy Omar Ayala [1] comprendió la estructuración modular de la asignatura Sistemas de Control. Se identificaron las actividades de enseñanza-aprendizaje por afinidad conceptual, de las cuales se obtuvieron las unidades de aprendizaje que sirvieron para diseñar módulos tomando como criterio de agrupación la afinidad temática. Luego se elaboró la planeación curricular para identificar los objetos de aprendizaje.

Los objetos de aprendizaje identificados por categorías en dicho trabajo de grado se presentan a continuación:

- **Análisis de sistemas de control**

Análisis en el tiempo: Se analiza la respuesta en el tiempo para un sistema de control a diferentes señales de entrada como: senoidal, rampa, escalón identificando si el sistema es estable y bajo qué condiciones se cumple dicha estabilidad [5].

Análisis en frecuencia: Se refiere a la respuesta de un sistema en estado estable a una entrada senoidal. En los métodos de la respuesta en frecuencia, la frecuencia de la señal de entrada se varía en un cierto rango para estudiar la respuesta resultante [5]. Una ventaja de estos métodos es que permiten realizar un estudio de la estabilidad sin tener que analizar la situación de las raíces de la ecuación característica de un sistema.

Estabilidad: Un sistema de control es estable sí para toda entrada acotada produce una salida acotada [5]. Para el caso de sistemas lineales e invariantes en el tiempo, es condición necesaria y suficiente que todos los polos de su función de transferencia en lazo cerrado tengan su parte real negativa. Algunos

métodos usados para determinar la estabilidad son: el criterio de Routh, Nyquist y el lugar de las raíces.

- **Diseño de sistemas de control**

Ubicación de polos: El método de diseño de ubicación de polos se basa en que sí se tiene un sistema de estado completamente controlable, “los polos del sistema en lazo cerrado se pueden ubicar en cualquier posición deseada mediante una realimentación del estado a través de una matriz de ganancias de la realimentación del estado” [5].

Lugar de las raíces: Éste método se fundamenta, en que los valores de s que hacen que la función de transferencia alrededor del lazo sea igual a -1 deben satisfacer la ecuación característica del sistema. Indica la forma en que deben modificarse los polos y ceros en lazo abierto para que la respuesta cumpla con las especificaciones de desempeño del sistema. Con éste método se obtienen resultados aproximados con mucha rapidez [5].

Diagrama de Bode: Los diagramas de Bode constan, para un sistema dado, de dos curvas representadas en función de la frecuencia en escala logarítmica. La primera curva es la de la magnitud de la función de transferencia senoidal expresada en decibelios ($20 \log|G(j\omega)|$). La segunda curva es la de la fase de la función de transferencia senoidal expresada en grados. La utilización de escala logarítmica para la frecuencia hace que sea posible observar el comportamiento del sistema tanto para las bajas como para las altas frecuencias, mientras que la expresión de la magnitud en esta escala convierte los productos y divisiones en sumas y restas respectivamente, lo que facilita la representación de las funciones factorizadas [5].

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 “Diseño y producción de objetos de aprendizaje para la asignatura Tratamiento de Señales Discretas mediante un programa de formación basado en competencias y mediado por tecnologías de información y comunicación” [6].

El trabajo de grado de Isley Santana y Mauricio Martínez⁵, documenta el desarrollo de un rediseño instruccional basado en competencias mediado por tecnologías de información y comunicación (TICs) para la asignatura “Tratamiento de Señales Discretas”, del programa académico de la escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Además, se desarrolló un objeto de aprendizaje completo y se elaboraron los guiones correspondientes para el posterior desarrollo del material didáctico, que sirve de soporte a cada objeto de aprendizaje.

Los guiones corresponden a la identificación del material didáctico digital que se requiere para la adecuada implementación de los objetos de aprendizaje.

1.4.2 “Diseño y producción de los objetos de aprendizaje que implementan el currículo de la asignatura "Tratamiento de Señales Continuas" para un programa de formación basado en competencias y mediado por tecnologías de información y comunicación” [7].

El proceso realizado para decidir sobre las estrategias adecuadas a seguir en el desarrollo de los objetos de aprendizaje, requiere un análisis completo. Se busca que las estrategias permitan consolidar un guión exacto de procedimientos, para crear las herramientas que soportan los objetos de aprendizaje. Con el fin de proporcionar coherencia al planteamiento de las estrategias instruccionales de aprendizaje se toma como base la relación propósito-contenidos, el diagrama secuencial de contenidos, la estructuración modular de la asignatura y los referentes pedagógicos examinados. El propósito de crear un guión es sustentar el diseño y desarrollo de las herramientas para soportar todas las actividades propuestas, y crear el derrotero para los estudiantes dentro de los objetos de aprendizaje. Se tiene en cuenta la sensibilidad del estudiante a los diferentes contenidos didácticos⁶.

⁵ “Diseño y producción de objetos de aprendizaje para la asignatura tratamiento de señales discretas mediante un programa de formación basado en competencias y mediado por tecnologías de información y comunicación”. Isley Mercedes Santana, Mauricio José Martínez. Dir. César Antonio Duarte.

⁶ “Diseño y producción de los objetos de aprendizaje que implementan el currículo de la asignatura "tratamiento de señales continuas" para un programa de formación basado en competencias y mediado por tecnologías de información y comunicación”. Jhon Alexander Blanco Barón, Juan Manuel Vera Ribero. Dir. César Antonio Duarte.

2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

2.1 DOCUMENTACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS

2.1.1 Trabajo de referencia. [1]

El diseño instruccional planteado por Edgar Fabianny y Fredy Omar en [1], fue revisado y analizado para identificar los módulos de formación a emplear en las guías prácticas. Teniendo en cuenta que el presente proyecto está enfocado en las horas de laboratorio de la asignatura, éste análisis dio como resultado:

- Modelado matemático de sistemas dinámicos.
- Análisis de sistemas de control.
- Diseño de sistemas de control.

Dada la limitación para el desarrollo práctico, se excluyeron del presente proyecto los módulos: “Historia de los sistemas de control” y “Conceptos básicos de los sistemas de control”.

Adicionalmente en el módulo “Modelado matemático de sistemas dinámicos”, se incluyó una actividad de enseñanza-aprendizaje concerniente a la identificación física de sistemas, con sus respectivos propósitos y haceres para complementar aún más el diseño instruccional usado como referencia.

La secuencialidad de los haceres mostró que el resultado obtenido en algunas prácticas sirve como insumo para otras entregando un valor agregado a los haceres de la siguiente guía. Esto condujo a modificar algunos propósitos que estaban ligados a ellas. Adicionalmente, se reagruparon algunos propósitos con el fin de eliminar redundancia en cuanto a la finalidad de las prácticas de laboratorio.

Por lo anterior se planteó una nueva codificación para hacer referencia a módulos, unidades, actividades, propósitos y haceres, para dar un mejor entendimiento en cuanto a modificaciones, nuevos propósitos, unión de

propósitos, nuevas actividades, etc. Dicha codificación se plantea en la Tabla 1.

Tabla 1 Codificación usada para el diseño instruccional

Letra capital	Significado	Subíndice	Significado
M	Módulo	n	Nuevo
U	Unidad	u	Unido
A	Actividad	m	Modificado
P	Propósito	m+	Modificado por <i>plus</i>
H	Hacer		

La modificación por *plus* implica el valor agregado que obtienen algunos propósitos debido a los insumos obtenidos de prácticas anteriores. Ésto con el fin de diferenciar de la modificación sencilla que se da por adición de contenido para complementar el diseño instruccional.

A manera de ejemplo, y para ilustrar el uso de la anterior codificación, considere: **M₂U₁A₁P_{m+1}H₁**. El anterior código hace referencia al Hacer 1 del Propósito modificado por plus 1, de la Actividad 1, de la Unidad 1 contenida en el Módulo 2.

En el anexo A se encuentra toda la codificación del diseño instruccional.

2.1.2 Otra documentación revisada

La fase de análisis condujo a una revisión preliminar y estudio de requerimientos de los usuarios a los que está dirigido este proyecto. Se tuvo en cuenta factores como: disponibilidad de equipos en el laboratorio, tipos de simuladores disponibles en la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, material bibliográfico que esté disponible a los usuarios. Todo esto para dar un soporte sólido a la posterior ejecución del proyecto.

Una vez completada ésta fase de análisis, se procedió a la documentación respectiva, ligada a cada uno de los objetos de aprendizaje identificados en el trabajo de grado de referencia [1]. Se revisaron y analizaron libros reconocidos en el área de sistemas de Control como: “Ingeniería de control moderno” - Katsuhiko Ogata,

“Sistemas de control automático” - Benjamin C Kuo, “Sistemas de control moderno” - Richard C Dorf. También páginas de internet en las que ya se han implementado guiones multimedia de distintas áreas de la educación [10, 11, 12], las cuales cuentan con una plataforma sólida de accesibilidad a la información. Igualmente se encontraron páginas que ofrecen una amplia información acerca del análisis, elaboración y ejecución de guiones.

Una vez seleccionado el material académico más relevante se continuó con la revisión del mismo buscando una mayor apropiación de los temas de interés allí expuestos.

2.2 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE GUIONES

Se diseñaron con el propósito de entregar una información clara y precisa, tal que se pueda llevar los recursos no digitales a una plataforma virtual de fácil acceso, con la intención de volverlos más interactivos y a la vez fomentar la colaboración participativa entre estudiantes y docente. Está conformado por un guión técnico, guion didáctico y un *storyboard*.

2.2.1 Guion técnico

Se diseñó una plantilla para que el guión fuese fácil de interpretar, teniendo en cuenta detalles como: títulos, fondos, botones, gráficos, texto, colores, tamaño de tal manera que el estudiante encuentre una sincronía entre estética y diseño tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1 Guión Técnico

TITULO	USUARIO
FONDOS	<ul style="list-style-type: none"> - Arco entrada Universidad Industrial de Santander tomado de https://www.uis.edu.co/admisiones/
BOTONES	Botones principales y perpetuos: <ul style="list-style-type: none"> - ENTRAR - INICIO - DOCENTE - PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

2.2.2 Guión didáctico

En él se plasmó la información que se va a transmitir a través de la multimedia. Se desarrolló describiendo todas las características y contenidos allí presentes como: la pantalla, los elementos gráficos que debe llevar, las acciones que implican el manejo de la página y los sonidos asociados, tal como se ve en la Figura 2.

Figura 2 Guión Didáctico

Contenido

- Pantallazo: USUARIO

Descripción	Elementos gráficos/acciones	Elementos sonoros/acciones
El fondo de la pantalla es una foto desvanecida de la entrada principal de la Universidad Industrial de Santander. El encabezado tiene el logotipo de la Universidad en la parte izquierda, y el logo de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones en la parte derecha. En medio dice: "ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES - E²T; SISTEMAS DE CONTROL; PLATAFORMA DE APRENDIZAJE".	Botones: - NOTICIAS: Al hacer click aparece información correspondiente a la asignatura (noticias, proyectos, actualidad, etc). - DOCENTE: Aparece el currículo del docente encargado de la asignatura.	Cada vez que se presione un botón, se reproducirá un sonido de "click".

Descripción visual de la página.

Acciones descritas al interactuar con la página.

Sonidos asociados a las acciones.

2.2.3 Storyboard

Se desarrolló para integrar la propuesta expuesta en el guión técnico y el guión didáctico. Está compuesto de dos presentaciones en pantalla, en la primera cada estudiante deberá ingresar su nombre de usuario y clave, que será asignada por el administrador de la página. Adicionalmente cuenta con un espacio de noticias acerca de temas de interés de la asignatura, junto con el currículo del docente y el programa a desarrollar durante el periodo académico que se esté cursando. Luego de suministrar la clave y la contraseña surgirá la segunda presentación en pantalla, donde podrá encontrar las prácticas, pre-prácticas, post-prácticas, prueba diagnóstica, información del sistema a controlar y la posibilidad de ser parte de un foro en el cual podrá exponer dudas e inquietudes. Finalmente se incluyó un chat para ser usado dentro y fuera del laboratorio con fines académicos, como se ve en las figuras 3 y 4.

Figura 3 Presentación en pantalla: USUARIO



Figura 4 Presentación en pantalla: PLATAFORMA



Hay muchas formas de implementar los guiones expuestos anteriormente. Una alternativa es la plataforma Moodle⁷ la cual es un sistema de gestión de cursos, de libre distribución, que ayuda a los docentes a crear ambientes efectivos de aprendizaje en línea. “Es lo suficientemente flexible para permitir una amplia gama de modos de enseñanza.”[15]

Los guiones completos se encuentran en el Anexo B.

⁷ <http://moodle.org>. Sistema de Administración de Cursos de código abierto. Se ha popularizado mundialmente en el medio educativo como una herramienta para crear sitios de Internet dinámicos para estudiantes.

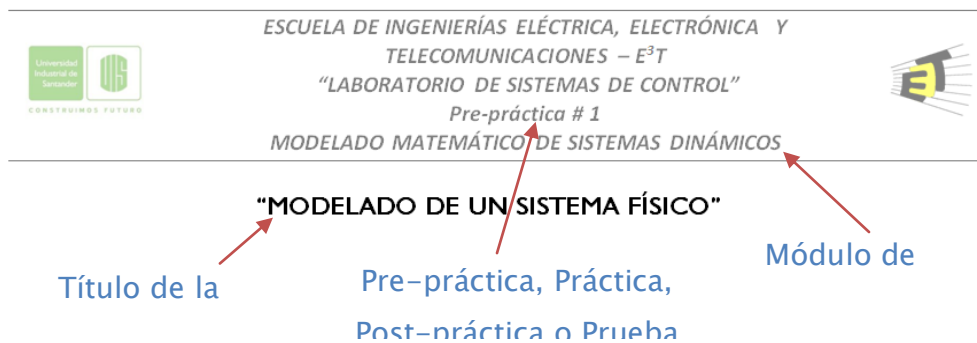
2.3 ELABORACIÓN DE LOS RECURSOS NO DIGITALES

En esta etapa, se diseñaron y elaboraron guías para la apropiación práctica de los contenidos que constan de una pre-práctica, práctica y post-práctica.

Las guías contemplan el desarrollo de un proyecto práctico para la asignatura, motivando al estudiante a que plantee soluciones a los problemas que se le van presentando relacionados con las temáticas de clase. Además, se diseñó un derrotero en donde se plasma información detallada del sistema que se pretende controlar, y las metas a lograr con cada práctica de laboratorio. Adicionalmente, debido a que el objeto de aprendizaje es una entidad reutilizable, se hizo necesario diseñar un esquema para cada parte de la guía (derrotero, pre-práctica, práctica y post-práctica) que permitiera cambiar el proyecto de la asignatura sin realizar ajustes considerables.

En la Figura 5 se puede observar el encabezado usado para las guías de laboratorio con sus partes más representativas. Cabe notar que para cada módulo de formación se diseñaron una o más prácticas de laboratorio.

Figura 5 Encabezado guías de laboratorio



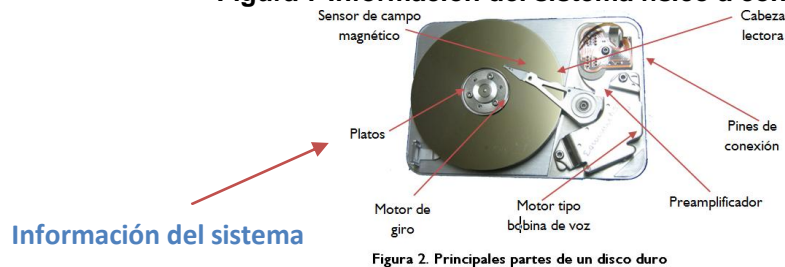
2.3.1 Derrotero

Traza el camino a seguir que se quiere tomar durante el semestre con la elaboración de las guías prácticas de laboratorio. Se diseñó para que el estudiante sepa qué actividades va a desarrollar en cada práctica y comprenda cuál es el propósito general del proyecto, como se muestra en la Figura 6. Adicionalmente cuenta con información útil del sistema que le ayudara a familiarizarse con él (ver Figura 7).

Figura 6 Derrotero de las guías de laboratorio

- Práctica laboratorio**
- ➔ **Practica # 1 "Modelado de un sistema físico"**
- Esta práctica busca desarrollar las siguientes actividades
- Representar un sistema de ecuaciones diferenciales en el espacio de estados mediante las formas canónicas posibles.
 - Determinar la ecuación diferencial de un sistema y a partir de ella obtener tanto la función de transferencia, como la ecuación de espacio de estados y su relación.
 - Obtener un sistema eléctrico análogo para los demás sistemas.
- Actividades de la práctica**
- ➔ **Practica # 2 "Identificación de un sistema físico"**
- Esta práctica busca desarrollar la siguiente actividad
- Determinar la función de transferencia de un sistema mediante su identificación física.

Figura 7 Información del sistema físico a controlar



➔ Preamplificador

Es necesario que identifique el preamplificador ya que es a éste dispositivo donde llegan las señales de los sensores de campo magnético. Tenga en cuenta que dependiendo del



2.3.2 Pre-práctica

En ella se contemplan los propósitos de la guía, recomendaciones para la práctica, información específica del sistema físico seleccionado, algunas funciones útiles de Matlab y la respectiva bibliografía. También hace parte de la pre-práctica, la prueba diagnóstica. Esta prueba evalúa si el estudiante cuenta con las competencias académicas para desarrollar la práctica de laboratorio. A continuación se explicará en detalle cada parte del esquema de la pre-práctica.

• Propósitos

Se derivan de los propósitos planteados en el diseño instruccional [1] (como se aprecia en la Figura 8) para cada actividad de enseñanza-aprendizaje. Es lo que se espera que el estudiante

refuerce durante las horas prácticas de la asignatura. Como se mencionó anteriormente, algunos de estos propósitos han sido modificados por plus, unidos, o añadidos al diseño instruccional, para complementarlo y particularizarlos en su uso.

Figura 8 Propósitos guías de laboratorio

I. PROPÓSITOS

- Obtener la ecuación diferencial y la función de transferencia del sistema.
- Representar la dinámica del sistema en el espacio de estados.
- Relacionar la representación en el espacio de estados con la función de transferencia del sistema.
- Establecer la analogía eléctrica entre los sistemas.

Propósitos
identificados
en el

• **Recomendaciones para la práctica**

Se le entrega al estudiante una información preliminar acerca del sistema, la cual debe tener en cuenta a la hora de desarrollar la práctica. Esto con el fin de despertar cierto interés por investigar y analizar los temas allí expuestos. Adicionalmente, y de ser necesario, se le dan algunas recomendaciones técnicas para el adecuado desempeño en la práctica, tal como aparece en la Figura 9.

Figura 9 Recomendaciones para la práctica

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

- Ubicación de polos.
- Sistemas estables, inestables y marginalmente estables.
- Criterio de Routh-Hurwitz.

Temas a leer y
reparar por

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3] y [4]

Referencias
bibliográficas

Recomendaciones
técnicas

➤ Para el desarrollo de la presente práctica, es necesario que implemente un circuito de ganancia variable. Pruebe el funcionamiento de dicho circuito antes de agregarlo a su sistema.

• **Información del sistema físico seleccionado**

En esta parte se le entrega al estudiante información muy puntual sobre el proyecto que se está realizando, los datos específicos sobre el sistema físico que se pretende controlar y lo que es

relevante para el desarrollo de la práctica, como se observa en la Figura 10.

Figura 10 Información específica sobre el sistema

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA FÍSICO SELECCIONADO

↗ Especificaciones de diseño de la unidad de disco duro

Las siguientes son las especificaciones de diseño a tener en cuenta para la unidad de disco duro.

Información específica →

Medida de desempeño	Valor deseado
Porcentaje de sobrepaso	Menor que el 5%
Tiempo de asentamiento	Menor que 150 ms
Máxima respuesta frente a una perturbación unidad	Menor que 5×10^{-3}

Tabla 7. 1 Especificaciones de desempeño de unidad de disco duro.

- **Funciones útiles de Matlab**

Adicionalmente, se enuncian de manera introductoria algunas funciones de Matlab que sirven al estudiante como ayuda para el desarrollo de la práctica, o incluso en la elaboración del informe en la post-práctica. Como se puede observar en la Figura 11, se plantea una breve descripción de cada función y su respectiva sintaxis.

Figura 11 Funciones de Matlab

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

Nombre de la Descripción Sintaxis →

- **BODE**
 Computa la magnitud y fase de la respuesta en frecuencia del sistema LIT.
 Sintaxis: `bode(sys)`; El rango de frecuencias y el número de puntos se escogen de manera automática.
- **NYQUIST**
 Calcula la respuesta en frecuencia de Nyquist del sistema LIT.
 Sintaxis: `nyquist(sys)`; Al igual que BODE, el rango de frecuencias y el número de puntos se escogen de manera automática.

- **Bibliografía**

Se presenta la bibliografía más representativa que abarca los temas expuestos en la práctica, dejando espacio para que el estudiante investigue y se apropie del conocimiento, tal como aparece en la Figura 12.

Figura 12 Bibliografía para la Práctica

V. BIBLIOGRAFIA

[1] "Ingeniería de Control Moderna". [Katsuhiko Ogata](#). Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.

[2] "Sistemas de Control Automático". [Benjamin C Kuo](#). Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.

[3] "Sistemas de Control Moderno". [Richard C Dorf](#). Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.

[4] "http://www.depeca.uah.es/docencia/ING-ECA/ctr_avz/Identif.PDF"

[5] "<http://www.redhat.com/docs/manuals/enterprise/RHEL-4-Manual/es/admin-guide/sl-storage-perf.html>"

- **Prueba diagnóstica**

La prueba diagnóstica tiene como finalidad establecer si el estudiante se encuentra en la capacidad de desarrollar la práctica de laboratorio. De no ser así, deberá reforzar los contenidos temáticos expuestos por el docente en el aula de clase. Esta prueba tendrá una nota mínima de aprobación de 3.5 sobre 5.0.

Consta de preguntas tipo falso – verdadero, selección múltiple y asociación de conceptos como se observa en la Figura 13. Cada grupo de preguntas tiene la misma ponderación.

Las preguntas de selección múltiple presentan las siguientes ventajas:

- "Permite medir conocimientos generales, conocimientos especializados, competencias, habilidades y destrezas pre-establecidas en una taxonomía.
- Elimina el factor de ambigüedad propio de las respuestas abiertas.
- Su aplicación necesita de menos tiempo que las preguntas de desarrollo.
- La corrección es rápida e incluso puede mecanizarse." [8]

Adicionalmente, para las preguntas tipo falso – verdadero, se contemplaron las siguientes sugerencias:

- “Redactar oraciones cortas, concretas y con claridad.
- Colocar los reactivos en forma variada.
- No expresar en forma negativa los reactivos expresados en forma negativa.
- El número recomendable de reactivos es veinte.
- Mantener el orden de colocación de los reactivos al azar.”[9]

Figura 13 Tipos de preguntas Prueba Diagnóstica

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES – E²T
 “LABORATORIO DE SISTEMAS DE CONTROL”
 Prueba diagnóstica Práctica # 1
 MODELADO MATEMÁTICO DE SISTEMAS DINÁMICOS

“MODELADO DE UN SISTEMA FÍSICO”

↻ Escriba falso o verdadero según corresponda

I. La función de transferencia incluye las unidades necesarias para relacionar la entrada con la salida y proporciona información acerca de la estructura física del sistema..... o F o V

Falso – Verdadero

↻ Asociación de conceptos

Vector de estado.

Espacio de estado.

Selección múltiple

Asociación de conceptos

Preguntas de selección múltiple

I. ¿Cuáles son las ventajas de la representación mediante diagramas de bloques?

a) Es fácil formar el diagrama de bloques de todo el sistema, teniendo en cuenta el flujo de señales.

b) Permite evaluar la contribución de cada componente al desempeño de cada sistema.

c) Contiene información con el comportamiento dinámico del sistema.

d) Todas las anteriores.

Conjunto más pequeño de variables de modo que el conocimiento de estas variables en $t = t_0$, junto con el conocimiento de la entrada en $t > t_0$, determina por completo el comportamiento del sistema para cualquier tiempo $t > t_0$.

Forman el conjunto más pequeño de variables que determinan el estado del sistema dinámico.

2.3.3 Práctica

En esta parte de la guía se establece el procedimiento que el estudiante debe seguir para el desarrollo de la práctica en el laboratorio. Al igual que la pre-práctica, la práctica también enuncia los propósitos de la guía y adicionalmente contempla los pre-saberes y las competencias prácticas, esto basándose en proyecto de grado de referencia [1]. Se dará una breve explicación de cada sección de la práctica:

- **Propósitos**
 Corresponden a los mismos propósitos de la pre-práctica, derivados del trabajo de referencia [1] y contemplados en las actividades de enseñanza-aprendizaje.

- **Pre-saberes**
Son los conocimientos previos que el estudiante debe manejar antes de entrar a la práctica. En el diseño instruccional se contemplan en la tabla de contenidos temáticos. En la Figura 14 se puede evidenciar lo anterior.

Figura 14 Pre-saberes (Contenidos Temáticos)

II. PRE-SABERES

Contenidos temáticos

- Magnitud y ángulo para sistemas con realimentación negativa.
- Concepto de lugar de las raíces.
- Reglas generales para la construcción del lugar geométrico de las raíces de un sistema.
- Movimientos de los polos en lazo cerrado en el plano “s” de un sistema de control realimentado conforme varía la ganancia de lazo directo “k”.
- Movimiento de los polos en lazo cerrado en el plano “s” de un sistema de control realimentado conforme varía un parámetro que no aparece como factor multiplicativo de la ganancia en lazo directo.

- **Competencias prácticas**
Son las habilidades y destrezas que se espera el estudiante refuerce al terminar la práctica. En el diseño instruccional están especificadas como los “Haceres”. En la Figura 15 se puede apreciar un ejemplo de lo especificado anteriormente.

Figura 15 Competencias (Haceres)

III. COMPETENCIAS PRÁCTICAS

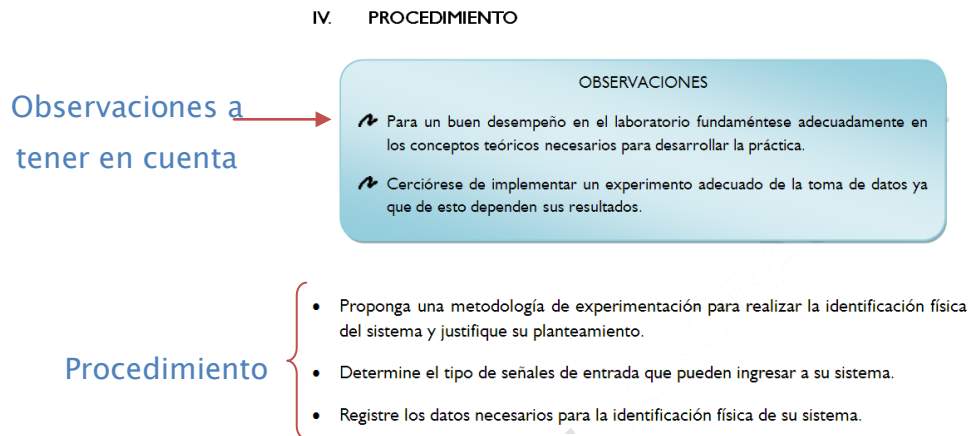
Al finalizar el presente trabajo práctico, el estudiante reforzará sus competencias para:

Haceres

- Plantear la ecuación diferencial que caracteriza el comportamiento dinámico del sistema en cuestión.
- Determinar la función de transferencia para el sistema.
- Establecer las variables de estado para representen dinámicamente el sistema.
- Representar un sistema en espacio de estados, mediante las formas canónicas posibles.

- **Procedimiento**
Contempla algunas observaciones y una serie de pasos claramente definidos que le permiten al estudiante tomar decisiones, tal como se muestra en la Figura 16. Esto con el fin de introducirlo a situaciones más reales a las que se verá enfrentado en su vida laboral.

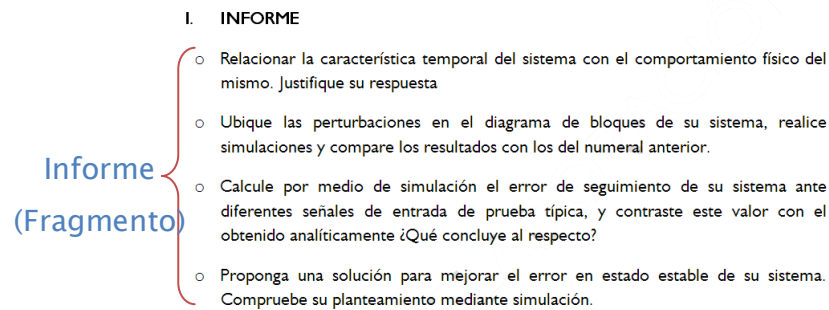
Figura 16 Procedimiento para la Práctica



2.3.4 Post-práctica

Está encaminada a la realización de un informe en donde el estudiante confrontará los resultados obtenidos en la práctica con una serie de preguntas que le permitirán analizar dichos resultados y a la vez justificar las decisiones tomadas al momento de desarrollar la práctica, como se observa en la Figura 17. Este informe deberá entregarse bajo los lineamientos especificados por el docente.

Figura 17 Informe Post-práctica



3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

- Los recursos no digitales brindan la posibilidad de ser reutilizables adaptándose a nuevos proyectos de la asignatura Sistemas de Control que se presenten, debido a la estructura con la que fueron diseñados.
- Las guías de laboratorio se diseñaron para que el estudiante tome decisiones que contemplen la necesidad de usar su creatividad frente a situaciones que se irán presentando durante el desarrollo de las prácticas.
- Se elaboraron los objetos de aprendizaje como entidad no digital, para la asignatura Sistemas de Control representados en guías prácticas de laboratorio que integran pre-practica, práctica y post-practica. Los objetos de aprendizaje presentan un nuevo concepto de ayuda al proceso de aprendizaje válido y coherente con el desarrollo de competencias y tienen en cuenta el contexto en el que se desarrollan.
- Al elaborar los objetos de aprendizaje no digitales se busca que el estudiante de Sistemas de Control obtenga una serie de destrezas y herramientas en las que fundamentará su conocimiento, sus habilidades analíticas, la crítica y la capacidad de desenvolverse en un entorno de trabajo.
- La estructura curricular desarrollada para la asignatura Sistemas de Control por Edgar Fabianny Ramírez y Fredy Omar Ayala es flexible gracias a su forma modular. Esto permitió la adición de una nueva actividad de enseñanza-aprendizaje junto con sus respectivos propósitos y haceres, que complementaron aún más el modulo de “Modelado matemático de sistemas dinámicos.”
- Se aporta una codificación que explica detalladamente cómo se utilizó el proyecto de grado de referencia [1] en la elaboración de los objetos de aprendizaje, la cual servirá de soporte para la continuidad del presente proyecto.

- Se diseñaron y elaboraron guiones multimedia que permiten la implementación de los recursos no digitales en medios virtuales. Esto para que el estudiante interactúe y cuente con una herramienta complementaria en su proceso de formación integral.
- Con la elaboración de los recursos no digitales se vio la necesidad de diseñar un “derrotero” de las prácticas de laboratorio. Éste cuenta con todas las actividades que se van a desarrollar durante el semestre junto con una información útil del sistema, que ayudará al estudiante a ubicarse dentro del contexto de lo que se quiere lograr en la asignatura.
- Con el desarrollo de este proyecto, queda la satisfacción de poder contribuir a que las futuras generaciones de ingenieros cuenten con herramientas complementarias de aprendizaje que les servirán de apoyo en su proceso de formación.

3.2 RECOMENDACIONES

- Para la implementación de los objetos de aprendizaje digitales, se recomienda emplear una plataforma de aprendizaje que sea flexible y versátil. Por ejemplo Moodle, que ofrece un fácil manejo para crear ambientes de trabajo colaborativos e interactivos.
- Los desarrolladores de la siguiente etapa de este proyecto, podrán ser de otras carreras afines. Sin embargo, se sugiere que manejen el diseño gráfico y herramientas de programación y animación.
- El guión multimedia diseñado y elaborado presenta la idea de los autores sobre la sustentación de los recursos digitales. Está sujeto a cambios en la medida en que éstos contribuyan a mejorar la interactividad, el aprendizaje colaborativo y el desarrollo de competencias en los estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Edgar Fabianny Ramírez Millán, Fredy Omar Ayala Rivera. “Diseño instruccional de un programa de formación por competencias para la asignatura de Sistemas de Control I”. Universidad Industrial de Santander 2007.

[2] Tíscar Lara. “Usos de los blogs en una pedagogía constructivista”. Revista Telos, número 65, páginas 86 – 93. Diciembre 2005.

[3] <http://laxantesaboramora.obolog.com/guion-didactico-108808>. “Guión didáctico”. Consultado en febrero 1 de 2009.

[4] Alejandro Acuña Limón. “Guiones para multimedia. Literario y técnico”. Universidad Iberoamericana. 2006.

[5] Katsuhiko Ogata. “Ingeniería de Control Moderna”. Tercera Edición. Editorial Prentice Hall. 1998.

[6] Mauricio José Martínez Pérez, Isley Mercedes Santana Pinzón. “Diseño y producción de objetos de aprendizaje para la asignatura tratamiento de señales discretas mediante un programa de formación basado en competencias y mediado por tecnologías de información y comunicación”. Universidad Industrial de Santander 2007.

[7] Jhon Alexánder Blanco Barón, Juan Manuel Vera Ribero. “Diseño y producción de los objetos de aprendizaje que implementan el currículo de la asignatura "tratamiento de señales continuas" para un programa de formación basado en competencias y mediado por tecnologías de información y comunicación”. Universidad Industrial de Santander 2007.

[8] <http://200.55.210.207/portal.herramientas/planificaccion/1610/article-96050.html>. “Planificación - Ventajas y desventajas del ítem de selección múltiple”. Consultado en abril 26 de 2009.

[9] <http://200.55.210.207/portal.herramientas/planificaccion/1610/article-93561.html>. “Planificación - Verdadero o falso”. Consultado en abril 26 de 2009.

[10] <http://nodocreativo.blogspot.com/2008/04/cmo-realizar-un-guin-multimedia-parte-2.html>. “Cómo realizar un guión multimedia parte II”. Consultado en mayo 2 de 2009.

[11] <http://nodocreativo.blogspot.com/2008/04/cmo-hacer-un-storyboard-en-una.html>. “Cómo realizar un guión multimedia parte III”. Consultado en mayo 2 de 2009.

[12] <http://nodocreativo.blogspot.com/2008/04/cmo-realizar-un-guin-multimedia-parte-i.html>. “Cómo realizar un guión multimedia parte I”. Consultado en mayo 2 de 2009.

[13] Carmen I. Lebrón Narváez, M.I.S. “Objetos de Aprendizaje: Nuevo concepto tecnológico instruccional”. Universidad Metropolitana UMET Bayamón. 2007.

[14] Jairo Castillo Cortés. “Tres escenarios para entender el concepto de objetos de aprendizaje”. Dirección de Nuevas Tecnologías y Educación Virtual. Universidad del Valle. Cali – Colombia. 2008.

[15] <http://es.wikipedia.org/wiki/Moodle>. “Moodle”. Consultado en julio 25 de 2009.

ANEXOS

ANEXO A. CODIFICACIÓN DISEÑO INSTRUCCIONAL.

ANEXO B. GUIÓN MULTIMEDIA

PLANTILLA PARA EL DESARROLLO DE OBJETOS DE APRENDIZAJE

Guión Técnico

TITULO	USUARIO
FONDOS	- Arco entrada Universidad Industrial de Santander tomado de https://www.uis.edu.co/admisiones/
BOTONES	<p>Botones principales y perpetuos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ENTRAR - INICIO - DOCENTE - PROGRAMA DE LA ASIGNATURA <p>Características de todos los botones:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Reposo: Gris plata. o Sobre: Bordes de color anaranjado. o Presionado: Gris oscuro.
GRÁFICOS	Logo_UIS, Logo_E3T
TEXTO	<ul style="list-style-type: none"> - “PLATAFORMA DE APRENDIZAJE SISTEMAS DE CONTROL” <ul style="list-style-type: none"> o Fuente: Verdana. o Tipo: Cursiva. o Tamaño: 12 pt o Color: Negro. - USUARIO – CLAVE <ul style="list-style-type: none"> o Fuente: Verdana. o Tipo: Cursiva. o Tamaño: 10 pt o Color: Negro. - NOTICIAS <ul style="list-style-type: none"> o Fuente: Verdana. o Tipo: Cursiva. Expandido. o Tamaño: 10 pt o Color: Negro.

ACCIONES	<ul style="list-style-type: none"> - Contiene botones que controlan imágenes y textos si este es el caso. - Cuenta con un botón de ingreso a la plataforma.
-----------------	---

TITULO	PLATAFORMA
FONDOS	Brazo_robotico Airic's arm tomado de FESTO (www.festo.com)
BOTONES	<p>Se encontrará un ComboBox con los siguientes ítems:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modelado - Identificación - Análisis en el tiempo - Análisis de estabilidad - Análisis en frecuencia (LR) - Análisis en frecuencia (Bode) - Diseño sistemas de control (PID) - Diseño de compensadores (LR) - Diseño de compensadores (Frecuencia) <p>Botones principales y perpetuos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - SISTEMA - PRE-PRÁCTICA - PRÁCTICA - POST-PRÁCTICA - FORO - CHAT <p>Características de todos los botones:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Reposo: Gris plata. o Sobre: Bordes de color anaranjado. o Presionado: Gris oscuro.
SONIDOS	“Clic” cuando se presionan los botones
GRÁFICOS	Logo UIS, Logo E3T, Katsuhiko
TEXTO	<ul style="list-style-type: none"> - “SISTEMAS DE CONTROL” <ul style="list-style-type: none"> o Fuente: Verdana.



	<ul style="list-style-type: none">○ Tipo: Cursiva.○ Tamaño: 32 pt○ Color: Negro. <p>- “UNIDAD”</p> <ul style="list-style-type: none">○ Fuente: Engravers MT○ Tipo: Normal○ Tamaño: 30 pt○ Color: Negro
ACCIONES	<ul style="list-style-type: none">- Contiene botones que controlan imágenes y textos si este es el caso.- Cuenta con botones para acceder a un foro y a un chat.



PLANTILLA PARA EL DESARROLLO DE OBJETOS DE APRENDIZAJE

Guión Didáctico

Introducción

Lo que se busca con la realización del presente guion, es establecer una serie de parámetros preliminares de contenido, animación, ambientación etc. que hagan más colaborativo y eficaz el desarrollo de las prácticas de laboratorio de la asignatura sistemas de control dentro y fuera del aula, de tal forma que el estudiante se haga participe de su formación, opinando, planteado y discutiendo ideas que le ayudarán a resolver problemas que surjan durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Objetivos

- Ofrecer un recurso alternativo y complementario al proceso de aprendizaje del estudiante.
- Fomentar en el estudiante el aprendizaje colaborativo para mejorar el desarrollo de la práctica.
- Reforzar las competencias adquiridas en clase.

Características

Una de las características más sobresalientes de la multimedia es que cuenta con un botón de foro y de chat que fomenta el aprendizaje colaborativo entre los estudiantes, ya que actualmente no se cuenta con una herramienta de apoyo que ayude a la interacción entre estudiantes y docente dentro y fuera del aula. Adicionalmente cuenta con una prueba diagnóstica que se desarrolla dentro de la multimedia generando una calificación que le permitirá o no acceder a la práctica, esto con el fin de despertar el interés del estudiante para preparar con antelación los contenidos a trabajar.

Contenido

- **Pantallazo: USUARIO**

Descripción	Elementos gráficos/acciones	Elementos sonoros/acciones
<p>El fondo de la pantalla es una foto desvanecida de la entrada principal de la Universidad Industrial de Santander. El encabezado tiene el logosímbolo de la Universidad en la parte izquierda, y el logo de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones en la parte derecha. En medio dice: “ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES – E³T; SISTEMAS DE CONTROL; PLATAFORMA DE APRENDIZAJE”.</p> <p>Cuenta con tres (3) botones de color gris plata en la parte izquierda de la pantalla debajo del encabezado; en orden vertical: NOTICIAS, DOCENTE, PROG. ASIGNATURA. A la derecha de los botones aparecen inicialmente noticias acerca de la asignatura, y algunas cuentan con su respectivo hipervínculo hacia la fuente de referencia. En la parte derecha de la pantalla aparece un recuadro para llenar datos de</p>	<p>Botones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - NOTICIAS: Al hacer click aparece información correspondiente a la asignatura (noticias, proyectos, actualidad, etc). - DOCENTE: Aparece el currículo del docente encargado de la asignatura. - PROG. ASIGNATURA: Aparece el programa a seguir de la asignatura. - ENTRAR: Al llenar los datos correctamente de usuario y clave, este botón permitirá el ingreso a la plataforma. 	<p>Cada vez que se presione un botón, se reproducirá un sonido de “click”.</p>



USUARIO y CLAVE, junto con un botón ENTRAR.		
---	--	--

● **Pantallazo: PLATAFORMA**

Descripción	Elementos gráficos/acciones	Elementos sonoros/acciones
<p>El encabezado contiene el logo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones en el lado izquierdo. A la derecha de este logo aparece el texto: “SISTEMAS DE CONTROL”. Luego aparece el logotipo de la Universidad Industrial de Santander. En el extremo derecho aparece una pestaña desplegable que permite escoger la unidad en la cual se quiere trabajar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modelado - Identificación - Análisis en el tiempo - Análisis de estabilidad. - Análisis en frecuencia (LR) - Análisis en frecuencia (Bode) - Diseño sistemas de control (PID) - Diseño de compensadores (LR) - Diseño de compensadores (Frecuencia) 	<p>Inicialmente los botones PRÁCTICA y POST-PRÁCTICA se encuentran deshabilitados. PRÁCTICA se habilita luego de que el estudiante apruebe la prueba diagnóstica de la unidad seleccionada. POST-PRÁCTICA se habilita una vez terminada la práctica de laboratorio.</p> <p>El botón DIAGNÓSTICA despliega la respectiva prueba diagnóstica que el estudiante debe aprobar para poder ingresar a la práctica de laboratorio. El resultado de la</p>	<p>Cuando el estudiante haga click sobre DIAGNÓSTICA y se muestre la prueba, el personaje oriental (de ahora en adelante KATSUHIKO) dirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A continuación tendrás que presentar una prueba la cual, dependiendo de su resultado, te permitirá seguir hacia la práctica. De no pasar dicha prueba te recomiendo vayas al material bibliográfico para que mejores tus competencias académicas. <p>Al hacer click sobre PRE-</p>



<p>El fondo del encabezado es un brazo robótico que está escribiendo en una pantalla.</p> <p>En la parte izquierda de la pantalla debajo del logo de la Escuela, se encuentran 4 botones ordenados verticalmente como sigue:</p> <ul style="list-style-type: none"> - SISTEMA - DIAGNÓSTICA - FORO - CHAT <p>Debajo de estos botones, aparece un dibujo animado con rasgos y vestimentas orientales.</p> <p>Debajo del encabezado y hacia el centro de la pantalla, hay una barra horizontal de botones que corresponden a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PRE-PRÁCTICA - PRÁCTICA - POST-PRÁCTICA <p>En la parte central de la pantalla se despliega el respectivo PDF que se quiere ver.</p>	<p>prueba será instantáneo y se publicará hasta que el estudiante haya terminado de responder las preguntas.</p> <p>El botón SISTEMA muestra el PDF del derrotero del trabajo a realizar durante el semestre.</p> <p>FORO y CHAT abren una nueva ventana con un foro o chat respectivamente.</p> <p>Cuando se hace click sobre el botón PRE-PRÁCTICA, PRÁCTICA o POST-PRÁCTICA, se desplegará el PDF correspondiente a la unidad seleccionada.</p>	<p>PRÁCTICA, Katsuhiko dirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Esta es la Pre-práctica, en ella encontrarás los objetivos a cumplir, los temas a tratar, algunas recomendaciones para la práctica, información del sistema que te puede ser útil y funciones de Matlab. ¡Espero que te sea de gran utilidad! <p>Cuando se hace click sobre PRÁCTICA, Katsuhiko dirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ésta es la práctica de laboratorio que desarrollaremos el día de hoy. Está especialmente diseñada para que propongas soluciones a problemas que se te pueden presentar en tu vida profesional. Te recomiendo que leas bien cada problema
---	--	---



		<p>para que lo entiendas y sepas que te están preguntando. Éxitos y recuerda que una vez termines deberás pasar a la Post-Práctica.</p> <p>Al hacer click sobre POST-PRÁCTICA Katsuhiko dirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espero que hayas desarrollado la práctica de laboratorio a conciencia, ya que de eso depende tu desempeño en el desarrollo de la Post-práctica. ¡Mucha suerte! <p>Cuando se hace click sobre SISTEMA, Katsuhiko dirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Este es el derrotero del trabajo a realizar durante el semestre. Aquí encontrarás una breve descripción de lo que se busca con cada
--	--	---



		<p>práctica y la información del sistema que se pretende controlar. Recuerda que a pesar de que aquí se expondrá información del sistema, no quiere decir que no investigues por tu cuenta.</p>
--	--	---



ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES- E³T
SISTEMAS DE CONTROL
PLATAFORMA DE APRENDIZAJE



- Noticias
- Docente
- Prog. Asignatura



USUARIO

CLAVE

Entrar

The image shows a web application interface for 'SISTEMAS DE CONTROL'. At the top left, there is a logo with the letters 'ET' and the text 'SISTEMAS DE CONTROL'. To the right of this is the logo for 'Universidad Industrial de Santander' (UIS) and the word 'UNIDAD'. Below the main title, there are four tabs: 'SISTEMA', 'PRE-PRACTICA', 'PRACTICA', and 'POST-PRACTICA'. The 'SISTEMA' tab is active, showing a sub-section titled 'DIAGNÓSTICA'. Under 'DIAGNÓSTICA', there are two circular buttons labeled 'FORO' and 'CHAT'. Below these buttons is a cartoon illustration of a character wearing a graduation cap and holding a diploma. The main content area is currently empty, with a large 'PDF'S' watermark overlaid on it.

ANEXO C. DERROTERO

SISTEMAS DE CONTROL

↻ El presente proyecto se realizara en 9 prácticas de laboratorio que están distribuidas en tres módulos de aprendizaje: **Modelado matemático de sistemas dinámicos, Análisis de sistemas de control y Diseño de sistemas de control.**

↻ Modelado matemático de sistemas de control

Consta de dos prácticas de laboratorio, **modelado e identificación de un sistema físico**, el propósito de dichas prácticas es interactuar con el sistema, identificando y relacionando los componentes que lo constituyen, junto con el comportamiento dinámico para posteriormente llevar a cabo la representación en ecuaciones matemáticas.

➡ Practica # 1 “Modelado de un sistema físico”

Esta práctica busca desarrollar las siguientes actividades

- Representar un sistema de ecuaciones diferenciales en el espacio de estados mediante las formas canónicas posibles.
- Determinar la ecuación diferencial de un sistema y a partir de ella obtener tanto la función de transferencia, como la ecuación de espacio de estados y su relación.
- Obtener un sistema eléctrico análogo para los demás sistemas.

➡ Practica # 2 “Identificación de un sistema físico”

Esta práctica busca desarrollar la siguiente actividad

- Determinar la función de transferencia de un sistema mediante su identificación física.

↻ Análisis de sistemas de control

Está conformada por cuatro practicas: **Análisis en el tiempo, Estabilidad de sistemas, Lugar de las raíces y Respuesta en frecuencia.** Con ellas se busca analizar el sistema en tiempo y frecuencia, entregando información útil que el diseñador deberá estudiar para comprender aun más el comportamiento dinámico del mismo; es una etapa crucial que tiene como objetivo la toma de decisiones.

➡ Practica # 3 “Análisis en el tiempo”

Esta práctica busca desarrollar la siguiente actividad



- Evaluar el comportamiento temporal de un sistema de control, tanto en estado estable como transitorio, ante señales de prueba típicas, y caracterizar su desempeño en el dominio del tiempo.

➡ **Practica # 4 “Estabilidad de sistemas”**

Esta práctica busca desarrollar la siguiente actividad.

- Describir la forma de respuesta de un sistema realimentado, y determinar su estabilidad utilizando la ubicación de sus polos en lazo cerrado y el criterio de estabilidad de Routh Hurwitz.

➡ **Practica # 5 “Análisis en frecuencia. Lugar de la raíces”**

Esta práctica busca desarrollar la siguiente actividad

- Construir el lugar de las raíces de un sistema de control realimentado, calcular el valor de “k” u otro parámetro que permita localizar los polos de un sistema en un punto definido de su lugar de las raíces y obtener sus valores críticos de estabilidad.

➡ **Practica # 6 “Análisis en frecuencia. Trazas de Bode Nyquist y Nichols”**

Esta práctica busca desarrollar las siguientes actividades

- Construir y analizar la respuesta en frecuencia de un sistema mediante su diagrama de Bode y determinar su estabilidad calculando los criterios de desempeño en el dominio de la frecuencia.
- Construir y analizar la respuesta en frecuencia de un sistema mediante su traza polar, determinar su estabilidad y calcular sus criterios de desempeño en el dominio de la frecuencia mediante su traza de Nyquist.
- Construir y analizar la respuesta en frecuencia de un sistema, determinar su estabilidad y calcular los criterios de desempeño en el dominio de la frecuencia mediante su traza de Nichols.

↗ **Diseño de sistemas de control**

En esta etapa se pone a prueba el resultado de Modelado y Análisis por medio de 3 prácticas de laboratorio, **Diseño de controladores de la familia PID, Diseño de**



compensadores con lugar de las raíces, Diseño de compensadores en base a la respuesta en frecuencia que tienen como objetivo implementar un controlador o compensador en el sistema que se ajuste a las especificaciones de diseño previamente establecidas.

➡ **Practica # 7 “Diseño de controladores de la familia PID”**

Esta práctica busca desarrollar las siguientes actividades.

- Obtener la función de transferencia de los controladores P, PD, PI, PID, adelanto, atraso y adelanto, atraso a partir de sus parámetros característicos y establecer las propiedades de cada uno de ellos.
- Diseñar controladores de la familia PID mediante el método de localización de polos y el método de sincronización empírica.

➡ **Practica # 8 “Diseño de compensadores de la familia adelanto-atraso”**

Esta práctica busca desarrollar la siguiente actividad.

- Diseñar compensadores de la familia adelanto-atraso utilizando las técnicas del lugar geométrico de las raíces.

➡ **Practica # 9 “Diseño de compensadores de la familia adelanto-atraso”**

Esta práctica busca desarrollar la siguiente actividad

- Diseñar compensadores de la familia adelanto-atraso utilizando las técnicas de respuesta en frecuencia.

↻ **SISTEMA FÍSICO A CONTROLAR (DISCO DURO)**

- ➡ “La información se puede almacenar de forma rápida y eficiente en un disco magnético. Las unidades de disco en los computadores cualquiera que sea su tamaño y están todas ellas esencialmente normalizadas tal como se define en las normas ANSI. Las ventas mundiales de unidades de disco se estiman que son superiores a 250 millones de unidades en 2002. En el pasado, los diseñadores de unidades de disco se han centrado en aumentar la densidad de los datos y los tiempos de acceso a dichos datos. De hecho, a comienzos de la década de los 1990, la densidad de las unidades de disco aumentaban a velocidades por encima del 60% por año y muy recientemente estos valores superan el 100% por año. Los diseñadores están ahora considerando emplear unidades de disco para realizar tareas históricamente delegadas a la unidad de proceso central

(CPU), lo que lleva a mejoras en los entornos de computación. Estas áreas de “inteligencia” que se están investigando incluyen la recuperación de errores fuera de línea, avisos de fallos en unidades de disco y almacenamiento de datos a través de múltiples unidades de disco. El objetivo del dispositivo de lectura de la unidad de disco es posicionar la cabeza lectora con el fin de leer los datos almacenados en una pista del disco. La variable a controlar de forma precisa es la posición de la cabeza de lectura (montada sobre un dispositivo de almacenamiento). El disco gira a una velocidad entre 1800 y 7200 rpm y la cabeza “vuela” por encima del disco a una distancia de menos de 100 nm. La especificación inicial para la precisión de la posición es de (μm). Más aún se desea, si es posible, poder mover la cabeza desde la pista (a) a la pista (b) dentro de un intervalo de 50 ms.” [1]

➤ ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

ESPECIFICACIONES PARA LA RESPUESTA TRANSITORIA	
Medida de comportamiento	Valor deseado
SobreeLONGACIÓN porcentual	Menor que 5%
Tiempo de asentamiento	Menor que 250 ms
Máximo valor de la respuesta a una perturbación de escalón unitario	Menor que 5×10^{-3}

➤ IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES QUE CONFORMAN EL SISTEMA

- Para la implementación del sistema de control de lectura de una unidad de disco, debemos tener en cuenta, antes que nada, las principales partes del disco. Para este caso, en la figura 2 se muestra una unidad Seagate de 1705 MB (Modelo ST31720A) con sus principales partes identificadas. Cabe notar que estas partes son independientes del fabricante del disco aunque pueden variar en cuanto a su forma.

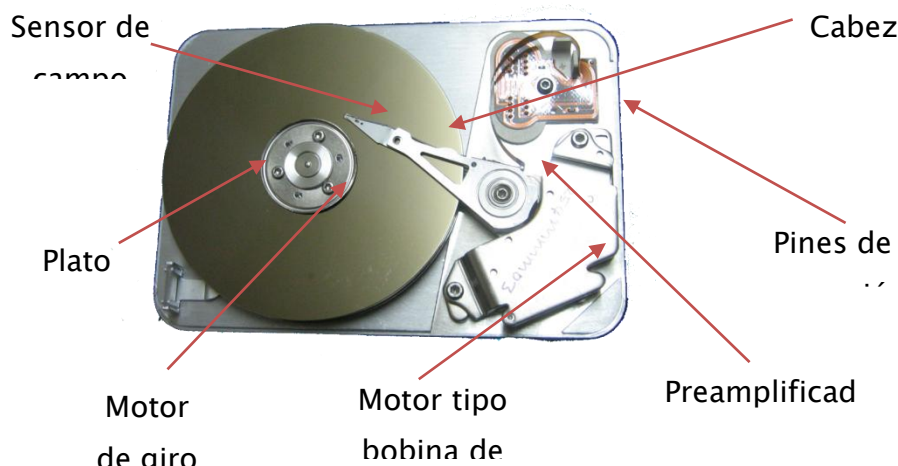


Figura 18. Principales partes de un disco duro

➔ **Preamplificador**

Es necesario que identifique el preamplificador ya que es a éste dispositivo donde llegan las señales de los sensores de campo magnético. Tenga en cuenta que dependiendo del modelo y fabricante del disco duro que usted posea, este dispositivo puede variar. A manera de ejemplo, en la figura 3 se puede observar el preamplificador para el modelo de disco mencionado anteriormente. Este dispositivo cuenta con 4 canales y sus respectivos pines de salida y de alimentación.

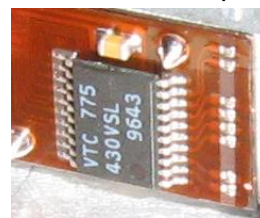


Figura 19. Preamplificador CI

La hoja de datos de este dispositivo la encuentra en

➔ **Plato**

Un disco duro se organiza en platos; en la superficie de cada una de sus dos caras existen pistas concéntricas que a su vez se dividen en sectores. Las pistas concéntricas forman el cilindro de cada cara de cada plato que están situados unos justo encima de los otros, de modo que la cabeza no tiene que moverse para acceder a las diferentes pistas



Figura 20 Plato

de un mismo cilindro. Los platos poseen un recubrimiento magnético, el cual es necesario a la hora de leer y escribir datos por parte del cabezal.

➔ Cabezal de lectura / escritura

Es la parte del disco duro que lee y escribe los datos en el plato. En la gran mayoría de los discos duros se incluyen una cabeza de lectura y escritura tanto arriba como abajo del plato. Cuando se va a leer, el sensor que se encuentra sujetado al flexor convierte el campo magnético generado por el plato en corriente eléctrica, que se amplifica a través de un circuito integrado. El sensor se encuentra a una distancia de menos de 100 nm del plato, el flexor, que es una pieza hecha con acero para resortes, tiene la capacidad de deflactarse con velocidades altas. El impulsor del flexor va acoplado con el eje de un motor tipo bobina de voz, de tal manera que éste le da el movimiento cuando busca los datos almacenados en una pista.

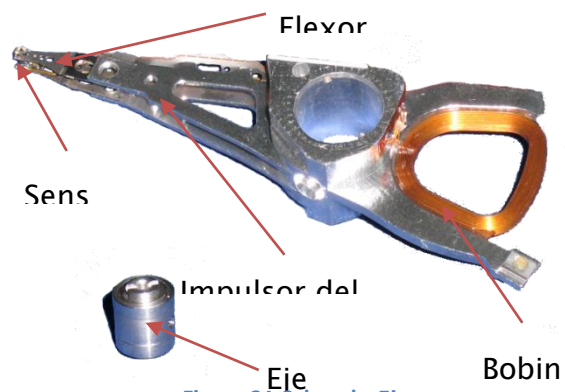
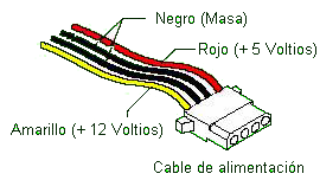
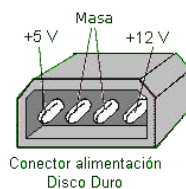


Figura 21. Cabezal de lectura / escritura

➔ Pines de alimentación

Pin	Nombre	Color	Descripción
1	+12V	Amarillo	+12 VCC
2	Masa	Negro	Masa +12 V
3	Masa	Negro	Masa +5 V
4	+5V	Rojo	+5 VCC



La alimentación del disco es necesaria para que los platos giren a 5400 rpm y se pueda leer la pista deseada.

➔ BIBLIOGRAFIA

[1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.

ANEXO D. GUÍA “MODELADO DE UN SISTEMA FÍSICO”



“MODELADO DE UN SISTEMA FÍSICO”

I. PROPÓSITOS

- Representar el modelo del sistema en el espacio de estados.
- Obtener la ecuación diferencial y la función de transferencia de un sistema físico.
- Relacionar la representación del sistema en el espacio de estados con la función de transferencia.
- Establecer la analogía eléctrica entre los sistemas.

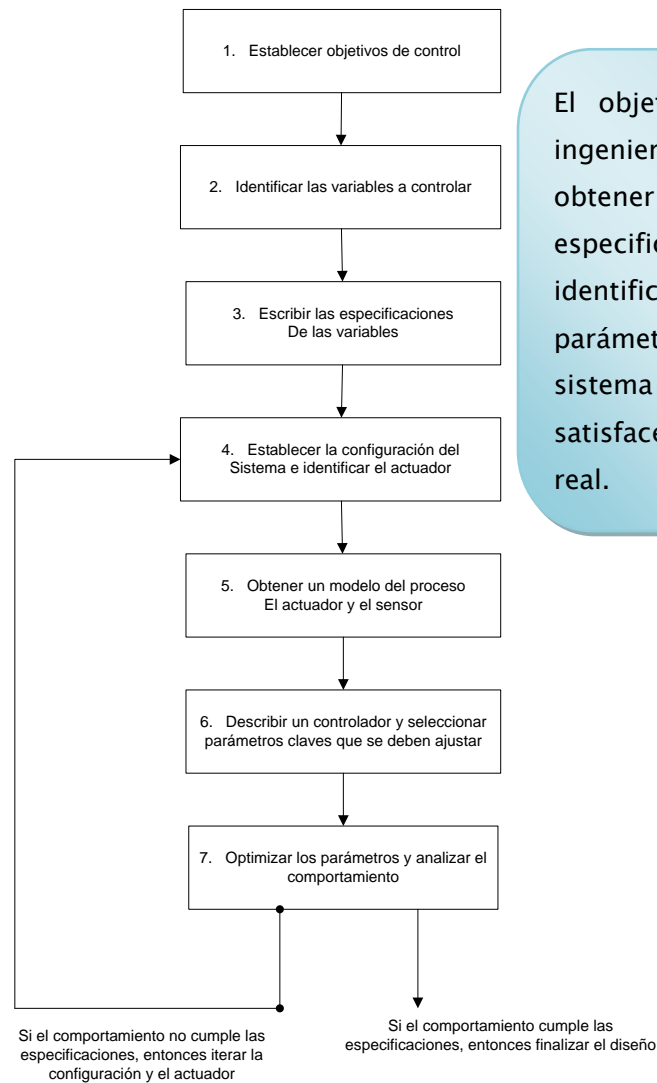
II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y comprensión y repaso de los siguientes temas:

- Leyes físicas según los elementos involucrados en el sistema físico.
- Función de transferencia.
- Diagramas de bloques.
- Tipos de sistemas.

Estos temas se encuentran en:
[1], [2], [3], [4], [5].

Para ésta práctica y las siguientes, se recomienda utilizar el proceso de diseño mostrado a continuación:



El objetivo del diseño en ingeniería de control es obtener la configuración, especificaciones e identificación de los parámetros claves de un sistema propuesto para satisfacer una necesidad real.

Figura 22. Proceso de diseño de un sistema de control tomada de [3]

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA FÍSICO SELECCIONADO

Para la realización de ésta práctica y las siguientes, es necesario que disponga de una unidad de disco en la que giren los platos y los sensores del cabezal se encuentren en buen estado. Además asegúrese que la bobina de voz mueva la cabeza lectora al alimentarla. También debe identificar los pines de conexión del sistema de lectura y aislarlos del resto de la electrónica del disco duro.

Tenga en cuenta las siguientes recomendaciones para no afectar de manera significativa el funcionamiento del sistema.



⚡ Tenga especial cuidado de no tocar el plato del disco, ya que esto puede afectar sus características y puede dañar la cabeza de lectura.

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

⚡ SS

La función ss especifica un modelo en espacio de estados o convierte un modelo LIT representado al espacio de estados.

sys = ss (a,b,c,d) define un modelo en espacio de estados en tiempo continuo

$$\begin{aligned} dx/dt &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) \end{aligned}$$

⚡ TF

Es usada para definir funciones de transferencia en tiempo continuo.

sys = tf(num,den) define la función de transferencia en tiempo continuo, donde num y den son vectores que corresponden a los coeficientes de los polinomios del numerador y denominador respectivamente.

⚡ STEP

Calcula la respuesta de un sistema LIT a una entrada escalón unitario.

La sintaxis adecuada es la siguiente:

step(sys)

step(sys,t) cuando se define un vector de tiempo.

V. BIBLIOGRAFIA

[3] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.

[1] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.



- [2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.
- [4] “http://www.depeca.uah.es/docencia/ING-ECA/ctr_avz/Identif.PDF”
- [5] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.




“MODELADO DE UN SISTEMA FÍSICO”

✎ Escriba falso o verdadero según corresponda

1. La función de transferencia incluye las unidades necesarias para relacionar la entrada con la salida y proporciona información acerca de la estructura física del sistema..... o F o V
...
2. La representación de un sistema en espacio de estados siempre puede ser escrita en forma diagonal..... o F o V
3. Las variables de estado describen la respuesta futura de un sistema, conocido el estado presente, las señales de excitación y las ecuaciones que describen la dinámica..... o F o V
4. Un sistema lineal satisface las propiedades de superposición y homogeneidad..... o F o V
5. No es necesario conocer el comportamiento dinámico del sistema para modelar el mismo..... o F o V
6. Es posible dibujar varios diagramas de bloques diferentes para un sistema, dependiendo del punto de vista del análisis..... o F o V
....



 Preguntas de selección múltiple

1. ¿Cuáles son las ventajas de la representación mediante diagramas de bloques?
 - a) Es fácil formar el diagrama de bloques de todo el sistema, teniendo en cuenta el flujo de señales.
 - b) Permite evaluar la contribución de cada componente al desempeño de cada sistema.
 - c) Contiene información del comportamiento dinámico del sistema.
 - d) Todas las anteriores.

2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones no corresponde a una función de transferencia que se obtiene mediante una ecuación diferencial lineal e invariante en el tiempo?
 - a) La función de transferencia de un sistema es un modelo matemático porque es un método operacional para expresar la ecuación diferencial que relaciona la variable de salida con la variable de entrada.
 - b) La función de transferencia es una propiedad de un sistema, independiente de la magnitud y naturaleza de entrada o función de excitación.
 - c) Si se conoce la función de transferencia de un sistema, se estudia la salida o respuestas para varias formas de entrada, con la intención de comprender la naturaleza del sistema.
 - d) Una vez establecida la función de transferencia de un sistema esta no proporciona una descripción completa de las características dinámicas del sistema, a diferencia de su descripción física.



Asociación de conceptos

Vector de estado.	Conjunto más pequeño de variables de modo que el conocimiento de estas variables en $t = t_0$, junto con el conocimiento de la entrada en $t > t_0$, determina por completo el comportamiento del sistema para cualquier tiempo $t > t_0$.
Espacio de estado.	Forman el conjunto más pequeño de variables que determinan el estado del sistema dinámico.
Ecuaciones en el espacio de estados.	Determina de manera única el estado del sistema $x(t)$ para cualquier tiempo.
Variables de estado.	Está constituido por n dimensiones cuyos ejes de coordenadas están formados por el eje x_1, x_2, \dots, x_n .
Estado.	Son de gran utilidad en el análisis de sistemas, están formadas por variables de entrada de salida y de estado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.



“MODELADO DE UN SISTEMA FÍSICO”

I. PROPÓSITOS

- Representar el modelo del sistema en el espacio de estados.
- Obtener la ecuación diferencial y la función de transferencia de un sistema físico.
- Relacionar la representación del sistema en el espacio de estados con la función de transferencia.
- Establecer la analogía eléctrica entre los sistemas.

II. PRE-SABERES

- Definición de: estado, espacio de estados, vectores de estado, entrada y salida de matrices de estado.
- Representación en el espacio de estado.
- Formas canónicas para la representación en el espacio de estados de un sistema.
- Leyes físicas de los sistemas, componentes físicos y ecuaciones dinámicas de un sistema, configuraciones más comunes de los sistemas.
- Deducción de las funciones de transferencia de un sistema a partir de su representación en el espacio de estados.
- Procedimiento para obtener la ecuación característica de un sistema a partir de la representación en el espacio de estados.
- Tipos de elementos de un sistema físico, analogía eléctrica para los componentes de un sistema.

III. COMPETENCIAS PROCEDIMENTALES

Al finalizar el presente trabajo práctico, el estudiante reforzará sus competencias para:

- Plantear la ecuación diferencial que caracteriza el comportamiento dinámico del sistema en cuestión.
- Determinar la función de transferencia que representa al sistema.



- Establecer las variables de estado para representen dinámicamente el sistema.
- Representar un sistema en espacio de estados, mediante las formas canónicas posibles.
- Obtener el modelo eléctrico equivalente del sistema.

IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

- Para un buen desempeño en el laboratorio debe tener una fundamentación adecuada en los conceptos necesarios para desarrollar la práctica.
- Tenga en cuenta el proceso de diseño que se presentó en la pre-

- Identifique físicamente las partes de su sistema.
- Proponga un diagrama de bloques del sistema en cuestión.
- Obtenga la ecuación diferencial del sistema y su función de transferencia.
- Observe y registre la respuesta de su sistema a varias señales de entrada (escalón, rampa, parábola, etc.).

Para los parámetros que no sean medibles expréselos con la variable física que lo representa. Tenga esto presente para la práctica de identificación.



“MODELADO DE UN SISTEMA FÍSICO”

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- Determine la función de transferencia del sistema y realice la representación del sistema en variables de estado.
- Represente la dinámica de su sistema en el espacio de estados mediante las formas canónicas posibles.
- Simule el modelo obtenido con varias señales de entrada típicas y compárelo con las respuestas experimentales obtenidas del sistema físico. ¿Qué puede concluir al respecto?
- Obtenga la analogía eléctrica para el sistema.
- Observaciones y Conclusiones.

ANEXO E. GUÍA “IDENTIFICACIÓN DE UN SISTEMA FÍSICO”

“IDENTIFICACIÓN DE UN SISTEMA FÍSICO”

I. PROPÓSITOS

- Establecer una relación de la señal de salida con las señales de entrada típicas y relacionarlas con su comportamiento dinámico.
- Obtener la función de transferencia del sistema a partir de la identificación física del mismo.
- Comparar las respuestas de las funciones de transferencia que relacionan el modelo obtenido mediante identificación física.

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

➤ Señales de prueba típicas.

➤ Identificación de sistemas.

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3], [4], [5]

• Obtención de datos

El punto de partida en el proceso de identificación es realizar pruebas sobre el sistema, para hallar unos datos de entrada-salida que posteriormente servirán para obtener una función de transferencia del sistema.

Es necesario realizar un buen experimento para la adquisición de datos esto implica tomar decisiones con respecto a: señales medidas, periodos de muestreo, tipo de entrada más adecuado, número de datos a almacenar etc.



- **Elecciones de las señales a medir**

Lo primero que hay que decidir es que tipo de señales se van a medir, y con qué señales se debe excitar el sistema durante el experimento. Hay que tener en cuenta que pueden existir señales que afectan la salida del sistema, pero no se pueden considerar como entrada ya que no se pueden manipular. En este caso deben ser tomadas como perturbaciones.

- **Elección del tipo de señal de entrada**

Hay que tener en cuenta los siguientes aspectos a la hora de elegir el tipo de entrada del sistema:

- La señal de entrada debe contener el mayor rango de frecuencias posible.
- Para sistemas lineales solo se necesita utilizar dos niveles de entrada, barriendo todo el rango de variación permitido. Si es un sistema no lineal es necesario trabajar con más de dos niveles en la entrada.

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA A CONTROLAR

- **Datos de cabezas leídas/escritas**

“Los cabezales de lectura/escritura del disco duro solamente funcionan cuando los platos sobre los que “vuelan” están girando. Debido a que es el movimiento de los cabezales lo que permite que los datos se lean o escriban, el tiempo que toma para que el cabezal llegue al sector deseado, es el único determinante de la contribución al tiempo total de acceso al disco.”[6]

- **Movimiento del brazo de acceso**

“Si existe un componente en los discos duros que se puede considerar como el más sensible para el funcionamiento, este es el brazo de acceso. La razón es que se debe mover muy rápidamente y con gran

precisión sobre relativamente largas distancias. Además, el movimiento del brazo de acceso no es continuo sino que acelera rápidamente a medida que se acerca al cilindro deseado y luego desacelera igualmente rápido. Por lo tanto, el brazo de acceso debe ser resistente (para sobrevivir las violentas fuerzas provocadas por los rápidos movimientos) pero también ligero (así hay menos masa que acelerar/desacelerar).”[7]

“Es difícil lograr estos objetivos conflictivos. Un hecho es la cantidad de tiempo que se toma el brazo de acceso cuando se compara con el tiempo tomado por los otros componentes. Por lo tanto, el movimiento del brazo de acceso es el principal determinante del rendimiento general del disco duro, con un promedio de 5.5 milisegundos.”[7]

➤ Tenga en cuenta el tipo de señal de prueba que le va a inyectar al sistema.

➤ Diseñe adecuadamente su experimento de toma de datos para tener unos resultados satisfactorios.

Observe la dinámica del sistema a través de videos [8]

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

- **INVREQS**

Encuentra una función de transferencia en tiempo continuo que corresponde a una respuesta en frecuencia compleja. Es útil desde el punto de vista del laboratorio ya que convierte datos de magnitud y fase en funciones de transferencia.

$[b,a] = \text{invfreqs}(h,w,n,m)$ retorna los coeficientes reales del numerador (b) y denominador (a) de la función de transferencia cuya respuesta en frecuencia compleja está dada en el vector h en los puntos de frecuencia especificados en w. Los escalares n y m corresponden al orden del polinomio del numerador y denominador respectivamente.



- **IDENT**

Inicia la interfaz gráfica de la toolbox de Matlab para la identificación de sistemas. [Nota: se debe tener la toolbox ident de Matlab]

V. BIBLIOGRAFIA

[1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.

[2] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.

[3] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.

[4] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.

[5] “Sistemas de Control Continuos y Discretos”. Dorsey John Primera Edición. Editorial Mcgraw hill.

[6] “http://www.depeca.uah.es/docencia/ING-ECA/ctr_avz/Identif.PDF”

[7] “<http://lost-contact.mit.edu/afs/athena.mit.edu/project/rhel-doc/4/RH-DOCS/rhel-isa-es-4/s1-storage-perf.html>”

[8] “www.youtube.com”



“IDENTIFICACIÓN DE UN SISTEMA FÍSICO”

 Escriba falso o verdadero según corresponda

1. Los modelos obtenidos mediante técnicas de identificación tienen su rango de validez limitado..... V F
2. Los parámetros de la función de transferencia obtenidos por medio de técnicas de identificación se utilizan solo para dar una descripción aceptable del comportamiento conjunto del sistema..... V F
3. El proceso de identificación es un proceso iterativo..... V F
4. Es recomendable a la hora de seleccionar una señal de entrada para la identificación de mi sistema, que esta contenga el mayor numero de frecuencias posibles..... V F
5. Es posible emplear un mismo experimento para la identificación de dos sistemas diferentes..... V F
6. Las señales de entrada son señales manipulables..... V F




↗ Preguntas de selección múltiple:

- 1.Cuál es la diferencia entre un señal de entrada y una señal de perturbación
 - a) La señal de entrada es manipulable y la perturbación no.
 - b) La perturbación no es una entrada al sistema.
 - c) La perturbación no afecta la salida del sistema.
 - d) La señal de entrada es aleatoria y la perturbación no.

- 2.Cuál de las siguientes deficiencias a la hora de tomar los datos implican una mala identificación del sistema
 - a) Presencia de perturbaciones de alta frecuencia.
 - b) Datos claramente erróneos.
 - c) Perturbaciones de baja frecuencia.
 - d) Todas las anteriores.



 Asociación de conceptos:

Identificación del sistema.	del	Representación de un sistema que se aproxima a la realidad.
Modelo		Método experimental que permite obtener el modelo del sistema a partir de los datos registrados de la planta bajo estudio.
Planta		Dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica o gaseosa.
Actuador		Sistema físico a controlar.
Sistema		Realidad en la que interactúan variables de diferentes tipos para producir señales de salida.

 BIBLIOGRAFIA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.

“IDENTIFICACIÓN DE UN SISTEMA FÍSICO”

I. PROPÓSITOS

- Establecer una relación de la señal de salida con las señales de entradas típicas y relacionarlas con su comportamiento dinámico.
- Obtener la función de transferencia del sistema a partir de la identificación física del mismo.
- Comparar las respuestas de las funciones de transferencia que relacionan el modelo obtenido mediante identificación física.

II. PRE-SABERES

- Señales de pruebas típicas.
- Respuestas de los sistemas de control de primer y segundo orden a las señales de pruebas típicas.
- Respuestas de sistemas de orden tres o mayor.

III. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN LA PRÁCTICA

Al finalizar el presente trabajo práctico, el estudiante reforzará sus competencias para:

- Determinar la función de transferencia de un sistema a partir de la identificación física del mismo.
- Relacionar el comportamiento dinámico del sistema con las señales de entrada típicas.
- Determinar los coeficientes que componen la función de transferencia.



IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

➤ Para un buen desempeño en el laboratorio fundaméntese adecuadamente en los conceptos teóricos necesarios para desarrollar la práctica.

- Proponga una metodología de experimentación para realizar la identificación física del sistema y justifique su planteamiento.
- Determine el tipo de señales de entrada que pueden ingresar a su sistema.
- Registre los datos necesarios para la identificación física de su sistema.

Recuerde que los datos registrados generalmente están acompañados de ruido u otro tipo de imperfecciones.

“IDENTIFICACIÓN DE UN SISTEMA FÍSICO”

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- Determine la función de transferencia a partir de los datos registrados en el laboratorio.
- Compare las funciones de transferencia obtenidas mediante las técnicas de modelado e identificación. ¿Qué concluye al respecto?
- Obtenga la respuesta de su sistema ante diferentes señales de entrada típicas.
- escoja cuál de las dos funciones de transferencia obtenidas mediante las técnicas de modelado e identificación usaría para diseñar el controlador de su sistema, justifique su respuesta.
- Observaciones y Conclusiones.

ANEXO F. GUÍA “ANÁLISIS EN EL TIEMPO”



“ANÁLISIS EN EL TIEMPO”

I. PROPÓSITOS

- Identificar las señales de pruebas típicas para sistemas de control y su respectiva respuesta usando la función de transferencia.
- Evaluar el error de seguimiento de un sistema de control ante señales de pruebas típicas.
- Caracterizar el desempeño de un sistema de control en el dominio del tiempo empleando su función de transferencia.

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

- ~ Sistemas de primer orden.
- ~ Sistemas de segundo orden.
- ~ Sistemas de orden superior.

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3], [4], [5], [6]

- Asegúrese de manejar adecuadamente los equipos de medida para obtener resultados favorables.
- Cerciórese de tener claridad en cuanto al tipo de perturbaciones que se presentan en el sistema (de proceso o en la medición).
- Tenga en cuenta que usted puede reducir el efecto de las perturbaciones por medio de reducción de la fuente, realimentación local, control en adelante y predicción investigue y analice cada uno

de ellos para tener más claridad acerca del impacto que estas podrían tener sobre su sistema.

- ➔ El modelado de las perturbaciones juegan un papel importante a la hora de obtener la salida del sistema, porque estas afectan a la planta ya sea por una imprecisión en la misma, la aparición de una carga o variación propia de la planta. Se recomienda hacer un análisis completo de su modelado y probarlo de ser posible.

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA A CONTROLAR

↻ Factores externos que afectan el funcionamiento del Disco duro

➔ Golpes

Los platos del disco giran normalmente a 7200 rpm desplazando las cabezas lectoras a gran velocidad a una distancia de los platos en el orden de las micras sin llegar a tocarse ya que esto sería nefasto para el funcionamiento del mismo produciendo lo que comúnmente se llama aterrizaje de cabezales, por esto no es recomendable hacer movimientos bruscos con el equipo si este está encendido ya que un golpe o movimiento del disco puede producir un desplazamiento y a su vez ocasionar un aterrizaje de cabezales.

➔ Temperaturas

Un disco suele tener temperaturas entre 45° y 60°, con un tope operativo sobre 60°, temperaturas mayores a estas pueden ocasionar un mal funcionamiento del mismo y a la larga provocar una avería, es conveniente si el acceso al disco por parte del usuario es constate colocarle algún medio de refrigeración extra, en el mercado se encuentran disipadores diseñados especialmente para los discos, por esto es aconsejable que observe las condiciones del entorno donde se va a desempeñar el mismo.



➡ Sobrecargas Eléctricas

No se está exento de una mala alimentación cortes o sobrecargas eléctricas en el disco, este tipo de perturbaciones pueden dejarlo inutilizable por lo que se hace necesario contar con una protección.

➡ Fuentes magnéticas muy intensas

Una fuente magnética cerca del disco no solo nos puede borrar los datos, sino que además puede dañarlo de forma irreparable, es preciso identificar las posibles fuentes potenciales de campos magnéticos que van a estar cerca de su disco a su vez clasificarlas de acuerdo a su intensidad e impacto.

➤ Asegúrese de identificar de manera clara las perturbaciones más relevantes que afectan su sistema.

➤ Tenga presente para que fue diseñado su sistema esto le ayudara a comprender aun mas las señales de salida del mismo.

Observe el ambiente de trabajo para el cual su sistema fue diseñado, por medio de videos o de ser posible contacto visual directo.

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

- **STEP**



Provee un escalón entre dos niveles definidos en un tiempo determinado. Se debe especificar el tiempo en que sucede el escalón, el valor inicial, el valor final y, en caso que se requiera, el tiempo de muestreo.

- **RAMP**



Este bloque de Simulink permite generar una función rampa creciente o decreciente. Los parámetros pendiente, tiempo de inicio y salida inicial determinan las características de la señal generada.

- **TRANSFER FCN**



Modela un sistema lineal por medio de una función de transferencia en el dominio de s . Puede modelar sistemas tipo SISO y SIMO.

Se deben especificar los coeficientes tanto del numerador como del denominador para determinar la función de transferencia.

V. BIBLIOGRAFIA

[1] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.

[2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.



[3] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.

[4] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.

[5] Limitaciones fundamentales del control profesor Paolo Castillo Rubio
Universidad de Concepción
“http://www.slideshare.net/ptah_enki/perturbaciones-470726”.

[6] Modelo de perturbaciones
http://materias.fi.uba.ar/6631/material/clase_03_Estocastico.pdf



“ANÁLISIS EN EL TIEMPO”

 Escriba falso o verdadero según corresponda

1. Todos los sistemas de control reales presentan un fenómeno transitorio antes de alcanzar la estabilidad..... V F
2. Si la salida de un sistema de control en estado estable no coincide exactamente con la entrada, no es motivo suficiente para asegurar que el sistema tiene un error en estado estable..... V F
3. El sobrepaso máximo de una respuesta al escalón unitaria del sistema prototipo de segundo orden nunca excederá del 100% cuando el factor de amortiguamiento relativo y la frecuencia natural no amortiguada son todos positivos..... V F
4. El adicionar un cero a la función de transferencia de la trayectoria directa generalmente mejorara el amortiguamiento del sistema y por lo tanto siempre reducirá el sobrepaso máximo del sistema..... V F
5. La localización de las raíces de la ecuación característica en el plano (s) dará una indicación definitiva sobre el sobrepaso máximo de la respuesta transitoria del sistema..... V F
6. Las fricciones lineales y no lineales generalmente degradaran el error en estado estable de un sistema de control..... V F



➤ Preguntas de selección múltiple

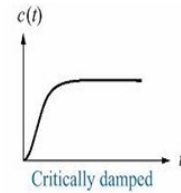
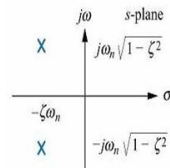
1. En un sistema de control el tiempo de asentamiento (T_s), se define como
 - e) Tiempo necesario para obtener el primer pico o máximo.
 - f) Tiempo necesario para que las oscilaciones amortiguadas de la respuesta transitoria alcancen y permanezcan a no más de ($\pm 2\%$) del valor en estado estable.
 - g) Tiempo necesario para que la forma de la onda pase de 0.1 del valor final a 0.9 del valor final.
 - h) Tiempo límite que tiene la señal de salida para seguir a la señal de entrada sin que haya error en estado estable.

2. Una respuesta no amortiguada a una entrada escalón se caracteriza por
 - e) El polo de entrada en el origen genera la respuesta forzada constante.
 - f) Hace que se reduzca la absorción de energía del sistema.
 - g) Los polos del sistema sobre el eje real generan una respuesta natural exponencial, cuya frecuencia exponencial es igual a la posición del polo.
 - h) Todas las anteriores.

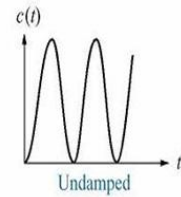
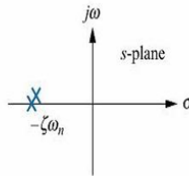


Asociación de conceptos:

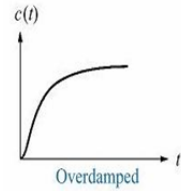
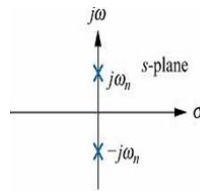
$$\zeta > 1$$



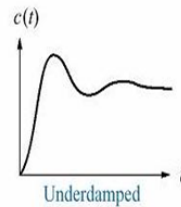
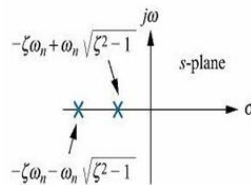
$$0 < \zeta < 1$$



$$\zeta = 1$$



$$0$$



BIBLIOGRAFIA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.

“ANÁLISIS EN EL TIEMPO”

I. PROPÓSITOS

- Identificar las señales de pruebas típicas para sistemas de control y su respectiva respuesta usando la función de transferencia.
- Evaluar el error de seguimiento de un sistema de control ante señales de pruebas típicas.
- Caracterizar el desempeño de un sistema de control en el dominio del tiempo empleando su función de transferencia.

II. PRE-SABERES

- Respuestas de los sistemas de control de primero y segundo orden a las señales de pruebas típicas, respuestas de los sistemas de orden tres o mayor.
- Error en estado estable de los sistemas de control de primero y segundo orden ante señales de pruebas típicas.
- Respuesta al escalón de sistemas de segundo orden o mayor, sistema subamortiguado, sistema críticamente amortiguado, sistema sobreamortiguado, definiciones de las especificaciones de la respuesta transitoria,

III. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN LA PRÁCTICA

- Relacionar la grafica de la señal de salida de un sistema ante señales de entrada de prueba típicas con el comportamiento físico del mismo.
- Calcular analíticamente y gráficamente el valor del error de seguimiento de un sistema ante cada uno de los tipos de señales de prueba típicas.
- Calcular analíticamente y gráficamente el valor de las medidas de desempeño que caracterizan la respuesta transitoria de un sistema.
- Asociar la forma de la señal de salida de un sistema ante la entrada escalón con sistemas prototipo de orden uno y dos.



- Identificar formas de respuesta para un sistema de control consideradas como características de desempeño favorables.

IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

- Para un buen desempeño en el laboratorio fundaméntese adecuadamente en los conceptos teóricos necesarios para desarrollar la práctica.
 - Tenga en cuenta el grado de relevancia a la hora de recrear y simular las perturbaciones ya que no todas afectan al sistema de igual manera.
- Obtenga la característica temporal de su sistema físico.
 - Obtenga la salida de su sistema ante diferentes señales de prueba típicas teniendo en cuenta las perturbaciones a las que estaría expuesto en su ambiente normal de trabajo.
 - Determine para que tipo de señales su sistema funciona de manera optima.

“ANÁLISIS EN EL TIEMPO”

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- Relacionar la característica temporal del sistema con el comportamiento físico del mismo. Justifique su respuesta
- Ubique las perturbaciones en el diagrama de bloques de su sistema, realice simulaciones y compare los resultados con los del numeral anterior.
- Calcule por medio de simulación el error de seguimiento de su sistema ante diferentes señales de entrada de prueba típica, y contraste este valor con el obtenido analíticamente ¿Qué concluye al respecto?
- Proponga una solución para mejorar el error en estado estable de su sistema. Compruebe su planteamiento mediante simulación.
- Simule la característica temporal de su sistema y compárela con la obtenida en la práctica.

Características de desempeño	Experimental	Teórico	% de error
<i>Factor de amortiguamiento (ζ)</i>			
<i>Frecuencia natural (ω_n)</i>			
<i>Tiempo pico (T_p)</i>			
<i>Sobrepaso de porcentaje (M_p)</i>			



Tiempo de asentamiento (T_s)			
Tiempo de levantamiento (T_r)			

Tabla 3. 1 Características de desempeño experimentales y teóricas.

- Observaciones y Conclusiones.

ANEXO G. GUÍA “ESTABILIDAD DE SISTEMAS”

“ESTABILIDAD DE SISTEMAS”

I. PROPÓSITOS

- Describir la forma de respuesta de un sistema realimentado con base en la ubicación de sus polos en lazo cerrado.
- Clasificar la estabilidad de un sistema en función de sus polos en lazo cerrado.
- Determinar la estabilidad de un sistema utilizando el criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz.

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

- ↻ Ubicación de polos.
- ↻ Sistemas estables, inestables y marginalmente estables.
- ↻ Criterio de Routh-Hurwitz.

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3], [4], [5]

- Para el desarrollo de la presente práctica, es necesario que implemente un circuito de ganancia variable. Pruebe el funcionamiento de dicho circuito antes de agregarlo a su sistema.
- Asegúrese que su sistema no esté en riesgo debido a la amplificación de la señal. Recuerde que los dispositivos soportan ciertos niveles de señales de entrada.

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA A CONTROLAR

↻ Actuador

Utiliza la fuerza de un electroimán empujado contra imanes permanentes para mover la cabeza a través del disco. El controlador envía más corriente hacia la bobina de voz para mover las cabezas cerca del borde del disco o hacia donde se requieran. La magnitud de ésta corriente no debe sobrepasar el nivel máximo que soporta la bobina de voz del actuador, ya que en dicho caso se quemaría el dispositivo.

- ↻ Diseñe adecuadamente el circuito amplificador para que pueda variar la ganancia fácilmente sin interrumpir el adecuado funcionamiento del sistema completo.
- ↻ Tenga en cuenta el nivel de corriente que puede soportar la bobina de voz antes de implementar el circuito amplificador en su sistema.

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

- **POLE**

Calcula los polos del sistema LIT.

Sintaxis: $p = \text{pole}(\text{sys})$; donde “p” es un vector columna.

- **DAMP**

Calcula el factor de amortiguamiento y las frecuencias naturales de los polos de un sistema LIT.

Sintaxis: $[W_n, Z] = \text{damp}(\text{sys})$; arroja los vectores columna W_n y Z que contienen las frecuencias naturales ω_n y los factores de amortiguamiento ζ del sistema “sys”.

- **PZMAP**

Grafica el diagrama de polos y ceros del sistema LIT.

Sintaxis: pzmap(sys)

V. BIBLIOGRAFIA

[1] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.

[2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.

[3] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.

[4] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.

[5] “Estabilidad de los sistemas dinámicos”. Apuntes de control distribuido. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Sevilla

<http://bc.inter.edu/facultad/arincon/EstabilidadSistemasDinamicos.pdf>




“ESTABILIDAD DE SISTEMAS”

✎ Escriba falso o verdadero según corresponda

1. Si los números en la primera columna de la tabulación de Routh se convierten en negativos, la ecuación para la cual fue hecha la tabulación tiene por lo menos una raíz en el semiplano izquierdo del plano s o F o V
2. El criterio de Routh-Hurwitz es condición necesaria y suficiente para determinar la estabilidad de los sistemas lineales..... o F o V
3. Un sistema marginalmente estable tiene polos en el eje $j\omega$ o F o V
4. Cuando un renglón de la tabla de Routh contiene todos sus elementos cero antes del final de la tabla, esto significa que la ecuación tiene raíces sobre el eje imaginario del plano s o F o V
5. La ecuación $s^3 - s^2 + 5s + 10 = 0$ representa un sistema inestable, ya que contiene un coeficiente negativo..... o F o V
6. La ganancia del sistema afecta directamente su estabilidad..... o F o V



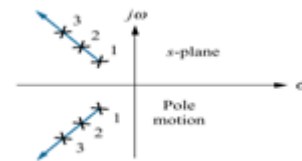
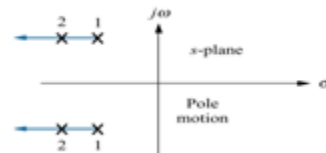
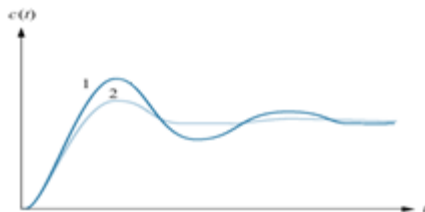
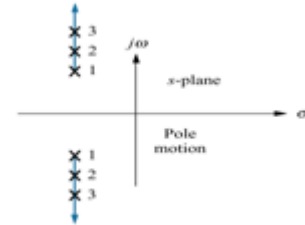
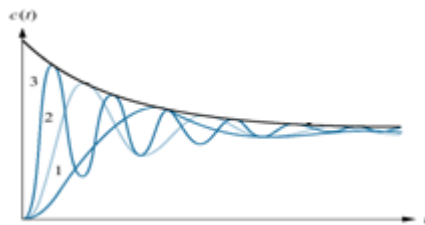
 Preguntas de selección múltiple

1. Un sistema marginalmente estable tiene polos en:
 - a) En el semiplano derecho del plano s.
 - b) Sobre el eje jw.
 - c) En el semiplano izquierdo del plano s.
 - d) Todas las anteriores.

2. Cuándo todos los elementos en un renglón de la tabulación de Routh son ceros antes de que la tabla esté terminada apropiadamente, indica que:
 - a) La ecuación tiene al menos un par de raíces reales con igual magnitud pero signos opuestos.
 - b) La ecuación tiene uno o más pares de raíces imaginarias.
 - c) La ecuación tiene pares de raíces complejas conjugadas que son simétricas con respecto al origen del plano s.
 - d) Una o más de las condiciones anteriores.



Asociación de conceptos



BIBLIOGRAFIA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.



“ESTABILIDAD DE SISTEMAS”

I. PROPÓSITOS

- Describir la forma de respuesta de un sistema realimentado con base en la ubicación de sus polos en lazo cerrado.
- Clasificar la estabilidad de un sistema en función de sus polos en lazo cerrado.
- Determinar la estabilidad de un sistema utilizando el criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz.

II. PRE-SABERES

- Efectos de la adición de polos y ceros sobre la respuesta transitoria de un sistema en lazo abierto y en lazo cerrado, definición de polos dominantes en lazo cerrado, efectos de la localización de los polos dominantes sobre la respuesta transitoria de un sistema realimentado.
- Estabilidad absoluta, marginal e inestabilidad de un sistema en función de la localización de sus polos.
- Aplicación del criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz al análisis en sistemas de control, casos especiales de análisis de estabilidad relativa.

III. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN LA PRÁCTICA

- Asociar la localización de un par de polos dominantes en lazo cerrado de un sistema con el valor de la frecuencia natural no amortiguada y el factor de amortiguamiento relativo del sistema.
- Asociar las formas de respuesta en el tiempo para una determinada ubicación de polos en lazo cerrado.
- Clasificar la estabilidad de un sistema en función de la localización de los polos de lazo cerrado.
- Construir la tabla de Routh a partir de la ecuación característica del sistema en lazo cerrado.



- Calcular la cantidad de polos en lazo cerrado que se encuentran en el semiplano derecho del plano “s” mediante el criterio de Routh-Hurwitz.

IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

- Para un buen desempeño en el laboratorio fundaméntese adecuadamente en los conceptos teóricos necesarios para desarrollar la práctica.
- Tenga en cuenta la ganancia máxima que puede implementar en su sistema sin causar ningún tipo de daño físico al mismo.

- Ubique los polos de su sistema en el plano s.
- Observe el efecto que tiene desplazar los polos sobre la respuesta transitoria del sistema.
- Implemente físicamente una ganancia K y determine para que valores de dicha ganancia el sistema es estable, inestable y marginalmente estable.

“ESTABILIDAD DE SISTEMAS”

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- Identifique los polos dominantes y halle el valor de la frecuencia natural no amortiguada y del factor de amortiguamiento relativo.
- ¿Cómo cambia la respuesta transitoria del sistema a medida que se desplazan los polos? Justifique su respuesta.
- Construya la tabla de Routh de su sistema y determine para qué valores de la ganancia K el sistema es estable, inestable y marginalmente estable. Compare este resultado con el obtenido en la práctica.

Clasificación de la estabilidad	K (Práctica)	K (Routh)
Estable		
Inestable		
Marginalmente estable		

Tabla 4. 1 Valores de K experimentales y por el criterio de Routh.

- Clasifique la estabilidad de su sistema cuando $K = 1$. Justifique su respuesta gráficamente.
- Determine la cantidad de polos en lazo cerrado que se encuentran en el semiplano derecho del plano “ s ” mediante el criterio de Routh.
- Observaciones y Conclusiones.

ANEXO H. GUÍA “ANÁLISIS EN FRECUENCIA. LUGAR DE LAS RAÍCES”

“ANÁLISIS EN FRECUENCIA.”

LUGAR DE LAS RAÍCES

I. PROPÓSITOS

- Construir el lugar de las raíces de un sistema de control realimentado.
- Calcular el valor de la ganancia “k” u otro parámetro que permita localizar los polos de lazo cerrado del sistema en un punto definido de su lugar de las raíces.
- Obtener los valores críticos que llevan a un sistema a su límite de estabilidad.

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

- ↻ Graficas del lugar geométrico de las raíces.
- ↻ Reglas generales para construir el lugar geométrico de las raíces.
- ↻ Graficas del lugar geométrico de las raíces con simuladores.

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3], [4]

- Los polos en lazo cerrado son las raíces de la ecuación característica del sistema, si esta tiene un grado superior a tres es muy difícil encontrar sus raíces y se requerirá de una solución por computador.
- Tenga en cuenta que encontrar las raíces de la ecuación característica tiene un valor limitado, debido a que, conforme varia el



valor de la ganancia de la función de transferencia de lazo abierto, la ecuación característica cambia y deben repetirse los cálculos.

- En el método del lugar geométrico de las raíces se grafican las raíces de la ecuación característica para todos los valores de un parámetro del sistema, por lo general es la ganancia “k” del sistema, aunque también es posible usar cualquier otra variable de la función de transferencia en lazo abierto del sistema. Haga una selección previa de la variable que usted crea más conveniente usar.
- Identifique cuantos parámetros debe ajustar en el sistema ya que hay casos en los cuales se deben ajustar dos o más, para ello se puede hacer una variación de un parámetro a la vez.

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA A CONTROLAR

Problemas de estabilidad más comunes en los discos duros

- La fragmentación de archivos de disco por lo general causa problemas en las empresas en red, donde muchas personas al mismo tiempo guardan, recuperan y eliminan su trabajo en los servidores de una empresa.

En un escenario ideal, la gente se "alinea" a utilizar los servidores de la empresa, lo que permite la gestión de datos (especialmente de almacenamiento y recuperación) para proceder en forma ordenada, lógica, y de manera secuencial. En realidad, las personas que trabajan simultáneamente. Esto da lugar a piezas de datos que se almacenan en los servidores de una manera aparentemente aleatoria, terminando en la fragmentación de datos. La magnitud de la fragmentación es tal que incluso las pequeñas empresas con menos de veinte personas se ocupan de los servidores tienen literalmente miles de fragmentos de datos repartidos por todo el servidor de datos del sistema de almacenamiento - empujando a los servidores de la pared en su intento de hacer frente a la constante demanda de los diversos archivos que el servidor tiene que localizar, recuperar y consolidar en cuestión de segundos (que es lo que la mayoría de la gente ha llegado a esperar de sus equipos).



Fuertemente fragmentada servidores son la causa detrás de percepción o el sistema se ralentice el sistema "se cuelga". No importa la velocidad con la que operan modernos sistemas de tratamiento, aún tiene tiempo - como dijo - para localizar, recuperar y consolidar los datos de piezas repartidas en sistemas de tamaño terabyte, más por lo que si un servidor tiene que procesar cientos de solicitudes cada minuto. También es la causa detrás de archivo o programa de la corrupción - la introducción de un gran archivo en un servidor muy fragmentado pueden causar la corrupción de los principales o incluso una caída del sistema.

Además, los archivos están muy fragmentados una causa indirecta de disco duro fracase en el proceso de localización, recuperación y consolidación de miles de bits de datos repartidos en una gran área puede causar el desgaste de los componentes mecánicos del disco duro [5].

- Es crucial hacer un buen análisis del lugar de las raíces para poder diseñar más adelante un controlador que se ajuste a las especificaciones requeridas por el sistema
- Observe el comportamiento del sistema y identifique los puntos críticos donde es posible perder estabilidad.

Identifique la sensibilidad de su sistema cuando se aumenta la ganancia del sistema aleatoriamente.

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

- **rlocus(num,den,k)**

Se dibuja en la pantalla la grafica del lugar geométrico de las raíces. El vector de ganancias “k” se determina en forma automática. El comando rlocus funciona para sistemas tanto en tiempo continuo como en tiempo discreto

- **rlocus(A,B,C,D,k)**

Grafica el lugar geométrico de las raíces del sistema con el vector de ganancias automáticamente determinado.

- **Plot(r,'o')**

Es instructivo graficar los lugares geométricos de las raíces mediante las marcas ‘o’ o bien ‘x’, dado que cada polo en lazo cerrado calculado se exhibe en forma gráfica; en alguna parte de los lugares geométricos de las raíces estas marcas están densamente ubicadas y en otra parte aparecen separadas.

V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.
- [2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.
- [3] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.



[4] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.

[5] [“http://es.tech-faq.com/file-fragmentation-stability-problems.shtml&prev=hp”](http://es.tech-faq.com/file-fragmentation-stability-problems.shtml&prev=hp)



“ANÁLISIS EN FRECUENCIA.”

LUGAR DE LAS RAÍCES

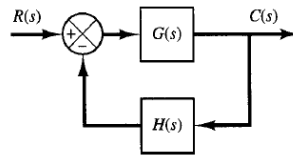
 Escriba falso o verdadero según corresponda

1. Las asíntotas del lugar geométrico de las raíces se refieren a los ángulos del lugar geométrico de las raíces cuando $K = \pm\infty$ V F
2. La intersección de las asíntotas debe estar siempre sobre el eje real. V F
3. En los puntos de ruptura sobre el lugar geométrico de las raíces, la sensibilidad de las raíces es infinita..... V F
4. Sin modificación todas las reglas y propiedades para la construcción del lugar geométrico de las raíces en el plano s , se puede aplicar en la construcción del lugar geométrico de las raíces de sistemas en tiempo discreto en el plano z V F
5. La determinación de las intersecciones del lugar geométrico de las raíces en el plano s con el eje $(j\omega)$ se pueden obtener al resolver la ecuación auxiliar de la tabla de Routh de la ecuación..... V F
6. Añadir un polo a $Q(s)/P(s)$ tiene el efecto general de empujar el lugar geométrico de las raíces a la derecha, mientras que añadir un cero empuja el lugar a la izquierda..... V F



Preguntas de selección múltiple

1. La adición de ceros en el semiplano izquierdo a la función $G(s)H(s)$ tiene el efecto de



- a) Mover y colocar el lugar geométrico de las raíces hacia el semiplano derecho del plano s .
 - b) Aumentar el ancho de banda.
 - c) Mover y colocar el lugar geométrico de las raíces hacia el semiplano izquierdo del plano s .
 - d) Todas las anteriores.
2. El método del lugar de las raíces es una técnica muy poderosa para investigar
- a) Los efectos de la variación de un parámetro de un sistema sobre la ubicación de los polos en lazo cerrado.
 - b) Los efectos de la variación de la ganancia en sistemas no lineales.
 - c) La trayectoria de los ceros en el diseño del sistema.
 - d) Todas las anteriores.



↻ Asociación de conceptos:

Ordene los pasos para dibujar el lugar de las raíces de un sistema

- 1 Determine el punto en que el lugar de las raíces cruza el eje imaginario (si lo hace).
- 2 Determine el punto de salida en el eje real (si existe alguno).
- 3 Preparación del dibujo del lugar de las raíces. Aquí se escribe la ecuación característica en forma de polos y ceros, se localizan los polos y ceros en lazo abierto etc.
- 4 Localizar los segmentos del eje real en los cuales están los lugares de las raíces.
- 5 El lugar de las raíces continúa a los ceros del infinito a lo largo de las asíntotas centradas en α_A y con ángulo θ_A
- 6 Complétese el dibujo del lugar de las raíces
- 7 Calcular el ángulo de la salida del lugar geométrico desde los polos complejos y el de llegada en los ceros complejos.

↻ BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.



“ANÁLISIS EN FRECUENCIA.”

LUGAR DE LAS RAÍCES

I. PROPÓSITOS

- Construir el lugar de las raíces de un sistema de control realimentado.
- Calcular el valor de la ganancia “k” u otro parámetro que permita localizar los polos de lazo cerrado del sistema en un punto definido de su lugar de las raíces.
- Obtener los valores críticos que llevan a un sistema a su límite de estabilidad.

II. PRE-SABERES

- Reglas generales para la construcción del lugar geométrico de las raíces de un sistema, condiciones de ángulo y magnitud.
- Determinación de la ganancia en lazo directo “k” a partir de la condición de magnitud, configuraciones comunes de los polos y ceros y los correspondientes lugares geométricos de las raíces.
- Determinación de los valores críticos de las ganancias de lazo abierto y otros parámetros para alcanzar el límite de estabilidad de un sistema.

III. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN LA PRÁCTICA

- Construir el lugar de las raíces de un sistema de control realimentado.
- Demostrar que un punto en el plano “s” pertenece al lugar de las raíces de un sistema en análisis.
- Calcular el valor de la ganancia de trayectoria directa “k” que permita la localización de los polos en una posición determinada del lugar de las raíces.
- Calcular el valor de un parámetro variable en un sistema de control realimentado que permita llevar los polos de un sistema a una posición determinada en el lugar de las raíces.



- Calcular el o los valores críticos de uno o dos parámetros variables en un sistema realimentados con los cuales se llegue al límite de estabilidad del mismo.

IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

- ↻ Para un buen desempeño en el laboratorio fundaméntese adecuadamente en los conceptos teóricos necesarios para desarrollar la práctica.
- ↻ En ciertos sistemas cambios muy pequeños en la ganancia producen modificaciones drásticas en la ubicación de las raíces.
- ↻ Algunos simuladores presentan errores cuando el lugar geométrico se aproxima a un polo doble o triple.

- Construya el lugar geométrico de las raíces del sistema usando un simulador.
- Determine el valor de la ganancia “k” u otro parámetro, que hacen que los polos del sistema se muevan hacia un punto determinado en el lugar de las raíces.
- Con diferentes valores de “k” calcule el tiempo de asentamiento T_s y porcentaje de sobreelongación M_p del sistema.
- Mida la sensibilidad de las raíces del sistema por medio del simulador.
- Encuentre los valores críticos de los parámetros que hacen que el sistema se vuelva inestable.

“ANÁLISIS EN FRECUENCIA” LUGAR DE LAS RAÍCES

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- Realice el lugar geométrico de las raíces del sistema analíticamente y compárelo con el obtenido en la práctica, ¿Qué conclusiones puede obtener?.
- De acuerdo a lo observado en la práctica usted que haría para disminuir la estabilidad relativa del sistema y a la vez influir en el establecimiento de la respuesta.
- Determine el rango de valores de “k” para obtener un sistema subamortiguado y sobreamortiguado.
- De qué manera se ve afectado el tiempo de asentamiento T_s y el porcentaje de sobreelongación M_p del sistema a medida que se varía el valor de “k”.
- Determine de ser posible un valor de “k” para que el desempeño de su sistema sea óptimo, de acuerdo con un índice de desempeño determinado previamente, en caso de no hallarlo justifique su respuesta.
- Cuál es el efecto en el lugar de las raíces, al adicionar ceros en la función de transferencia de lazo abierto del sistema, establezca una relación física con este hecho y justifique su respuesta.
- Que cambios considera usted pertinentes y viables que debe realizar para mejorar la estabilidad del sistema mediante el análisis del lugar de las raíces.
- Analice los cambios que ocurren en la salida del sistema a medida que este se acerca a los valores críticos de los parámetros que hacen que el sistema se vuelva inestable y establezca un rango de desempeño óptimo del mismo.
- Observaciones y Conclusiones.

ANEXO I. GUÍA “ANÁLISIS EN FRECUENCIA. TRAZAS DE BODE, NYQUIST Y NICHOLS”

“ANÁLISIS EN FRECUENCIA. TRAZAS DE BODE, NYQUIST Y NICHOLS”

I. PROPÓSITOS

- Construir y analizar la respuesta en frecuencia de un sistema mediante su diagrama de Bode, traza polar y traza de Nichols.
- Determinar la estabilidad de un sistema mediante su diagrama de Bode, traza de Nyquist y traza de Nichols.
- Calcular los criterios de desempeño en el dominio de la frecuencia de un sistema a través de su diagrama de Bode, traza polar y traza de Nichols.

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

- ↻ Diagramas de Bode, Nyquist y Nichols.
- ↻ Criterio de estabilidad de Nyquist.
- ↻ Margen de fase y margen de ganancia.
- ↻ Criterios de desempeño en el dominio de la frecuencia.

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3], [4]

- ➡ Se recomienda que lea y profundice acerca de las funciones útiles de Matlab o sobre simulador de su preferencia, ya que la presente práctica se desarrollará mediante el uso de herramientas de software.

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA A CONTROLAR

Una forma típica del diagrama de magnitud de Bode de una función de transferencia compensada en lazo abierto debe tener las siguientes características:

Banda de baja frecuencia

Alta ganancia por encima de los 0 dB que decrece con el incremento en la frecuencia a una tasa de $-20N$ dB/década donde N es un entero mayor o igual a 2.


Banda de cruce


Corta el eje 0 dB con una pendiente de aproximadamente -20 dB/década para asegurar estabilidad.

Banda de alta frecuencia

Baja ganancia por debajo de los 0 dB que decrece con el incremento en la frecuencia a una tasa de $-20N$ dB/década donde N es un entero mayor o igual a 2.

Cualquier acercamiento típico al diseño del controlador para el sistema de posicionamiento de la cabeza de un disco duro debe tratar de cumplir los requerimientos antes mencionados.

 Es recomendable que realice lecturas acerca del comportamiento del disco duro en el dominio de la frecuencia.

 Véase: “Hard Disk Drive. Mechatronics and Control”. Abdullah Al Mamun, GuoXiao Guo, Chao Bi. CRC Press. 2006.

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

- **BODE**

Computa la magnitud y fase de la respuesta en frecuencia del sistema LIT.

Sintaxis: `bode(sys)`; El rango de frecuencias y el número de puntos se escogen de manera automática.

- **NYQUIST**

Calcula la respuesta en frecuencia de Nyquist del sistema LIT.

Sintaxis: `nyquist(sys)`; Al igual que BODE, el rango de frecuencias y el número de puntos se escogen de manera automática.

- **NICHOLS**

Computa la respuesta en frecuencia del sistema y la grafica en la carta de Nichols.

Sintaxis: `nichols(sys)`; El rango de frecuencias y el número de puntos se escogen de manera automática.

V. BIBLIOGRAFÍA

[1] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.

[2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.

[3] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.



[4] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.




“ANÁLISIS EN FRECUENCIA.

TRAZAS DE BODE, NYQUIST Y NICHOLS”

↗ Escriba falso o verdadero según corresponda

1. La respuesta en frecuencia representa la respuesta en estado estable de un sistema estable a una entrada senoidal a varias frecuencias..... o F o V
2. La frecuencia de resonancia y el ancho de banda pueden ser relacionados con la velocidad de la respuesta transitoria..... o F o V
3. El margen de fase se mide a la frecuencia de cruce de ganancia..... o F o V
4. Las trazas de Bode pueden usarse para el análisis de estabilidad para funciones de transferencia de fase mínima y no mínima..... o F o V
5. Para un sistema prototipo de segundo orden, el valor de M_r depende sólo del factor de amortiguamiento relativo ζ o F o V
6. El margen de ganancia se mide a la frecuencia de cruce de fase..... o F o V



 Preguntas de selección múltiple

1. Las pendientes del diagrama asintótico a muy bajas ($\omega \ll 1$) y muy altas ($\omega \gg 10$) frecuencias son, respectivamente:
 - a) A bajas frecuencias: 0 dB/dec y a altas frecuencias: -40 dB/dec.
 - b) A bajas frecuencias: 0 dB/dec y a altas frecuencias: 20 dB/dec.
 - c) A bajas frecuencias: 20 dB/dec y a altas frecuencias: 20 dB/dec.
 - d) A bajas frecuencias: -20 dB/dec y a altas frecuencias: -20 dB/dec.

2. Supóngase que una especificación de diseño para un sistema de control realimentado requiere que el porcentaje de sobrepico a una entrada escalón sea menor del 10%. La correspondiente especificación en el dominio de la frecuencia es:
 - a) $M_{pw} \leq 0.55$
 - b) $M_{pw} \leq 0.59$
 - c) $M_{pw} \leq 1.27$
 - d) $M_{pw} \leq 1.05$



↻ Asociación de conceptos

Respuesta del sistema en el estado estacionario a una señal sinusoidal de entrada.

Ancho de banda ω_n

Frecuencia a la que la respuesta en frecuencia decae 3 dB respecto a su valor a baja frecuencia.

Función de transferencia de fase no mínima

Función de transferencia con todos sus ceros en la parte izquierda del plano s.

Frecuencia de resonancia ω_r

Función de transferencia con ceros en la parte derecha del plano s.

Respuesta en frecuencia

Frecuencia a la cual se obtiene el máximo valor de la respuesta M_{pw} en frecuencia.

Función de transferencia de fase mínima

↻ BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.



“ANÁLISIS EN FRECUENCIA.

TRAZAS DE BODE, NYQUIST Y NICHOLS”

I. PROPÓSITOS

- Construir y analizar la respuesta en frecuencia de un sistema mediante su diagrama de Bode, traza polar y traza de Nichols.
- Determinar la estabilidad de un sistema mediante su diagrama de Bode, traza de Nyquist y traza de Nichols.
- Calcular los criterios de desempeño en el dominio de la frecuencia de un sistema a través de su diagrama de Bode, traza polar y traza de Nichols.

II. PRE-SABERES

- Definición de las trazas de Bode, Nyquist, Nichols, procedimiento general para graficar trazas de Bode, Nyquist, Nichols, determinación de las funciones de transferencia de sistemas de fase mínima y fase no mínima a partir de sus trazas de Bode.
- Definición de margen de fase y margen de ganancia, determinación del margen de fase y del margen de ganancia de un sistema mediante su traza de Bode, Nyquist, Nichols.
- Criterios de desempeño de un sistema en el dominio de la frecuencia, determinación de los criterios de desempeño en frecuencia de un sistema mediante su traza de Bode, Nyquist, Nichols, correlación entre la respuesta transitoria al escalón y la respuesta en frecuencia en el sistema estándar de segundo orden,

III. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN LA PRÁCTICA

- Construir la traza de Bode y la traza polar para el sistema.
- Interpretar la lectura de las trazas de Bode y Nyquist de un sistema.
- Determinar la estabilidad de un sistema en lazo cerrado utilizando el criterio de Nyquist.



- Dibujar la respuesta en frecuencia del sistema en lazo abierto y cerrado por medio de la carta de Nichols.
- Calcular el margen de fase y el margen de ganancia de un sistema por medio de sus trazas de Bode, Nyquist y la carta de Nichols.
- Determinar la estabilidad del sistema por medio de los valores del margen de fase y margen de ganancia del sistema.
- Calcular el valor de los criterios de desempeño en frecuencia de un sistema por medio de las trazas de Bode, polar y la carta de Nichols.

IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

➤ Para un buen desempeño en el laboratorio fundaméntese adecuadamente en los conceptos teóricos necesarios para desarrollar la práctica.

- Construya las trazas de Bode y Nyquist de su sistema.
- Determine la estabilidad del sistema en lazo cerrado empleando el criterio de Nyquist.
- Dibuje la respuesta en frecuencia en lazo abierto y lazo cerrado por medio de la carta de Nichols.
- Calcule el margen de fase y margen de ganancia de su sistema a partir de las tres trazas (Bode, Nyquist y Nichols).
- Determine el valor de los criterios de desempeño de su sistema a partir de la traza de Bode, Nyquist y Nichols.

“ANÁLISIS EN FRECUENCIA.

TRAZAS DE BODE, NYQUIST Y NICHOLS”

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- ¿Qué puede decir de las trazas de Bode y Nyquist de su sistema? ¿A qué se debe este comportamiento?
- Según el criterio de Nyquist, ¿su sistema es estable? Justifique su respuesta.
- Halle el número de polos inestables que tiene su sistema en lazo cerrado usando la traza de Nyquist.
- Compare los valores de margen de fase y margen de ganancia obtenidos por medio de las tres trazas (Bode, Nyquist y Nichols).
- Determine la estabilidad de su sistema usando el margen de fase y el margen de ganancia.
- Compare los criterios de desempeño obtenidos mediante las tres trazas.
- Calcule el comportamiento transitorio del sistema y compárelo con el obtenido en la práctica de Análisis en el tiempo.
- Observaciones y Conclusiones.

ANEXO J. GUÍA “DISEÑO DE CONTROLADORES DE LA FAMILIA PID”

“DISEÑO DE CONTROLADORES DE LA FAMILIA PID”

I. PROPÓSITOS

- Diseñar controladores PD, PI y PID analíticamente usando la función de transferencia del sistema y las medidas de desempeño.
- Sintonizar empíricamente controladores de la familia PID usando la función de transferencia y las medidas de desempeño.

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

- ↻ Acciones básicas de control.
- ↻ Funciones de transferencia de controladores de la familia PID.
- ↻ Métodos de sintonización de Ziegler–Nichols y alternativos.

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3], [4]

- Adicionalmente, es necesario que investigue un método alternativo de sintonización de controladores de la familia PID, ya que posiblemente se requerirá para el diseño de su controlador.
- El laboratorio cuenta con dispositivos electrónicos que simulan el comportamiento de los controladores de la familia PID. Se recomienda que estudie estos dispositivos para entender su funcionamiento.




III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA A CONTROLAR

Especificaciones de diseño de la unidad de disco duro

Las siguientes son las especificaciones de diseño a tener en cuenta para la unidad de disco duro.

Medida de desempeño	Valor deseado
Porcentaje de sobrepaso	Menor que el 5%
Tiempo de asentamiento	Menor que 150 ms
Máxima respuesta frente a una perturbación unidad	Menor que 5×10^{-3}

Tabla 7. 1 Especificaciones de desempeño de unidad de disco duro.

 Recuerde que el movimiento del brazo no es continuo, ya que debe acelerar rápidamente a medida que se acerca al cilindro deseado y desacelerar igualmente rápido.

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

- **SISO DESIGN TOOL**

Es una interfaz gráfica que permite diseñar compensadores.

- Architecture

Permite escoger el diagrama de bloques correspondiente a su sistema de acuerdo a la ubicación del controlador.

- Compensator editor

Esta ventana le permite ingresar la ganancia, polos y ceros de la función de transferencia del compensador.

- Graphical Tuning



Use este panel para manipular directamente la respuesta en el tiempo de su sistema.

- Automated Tuning

Utilice este panel para seleccionar un método de sintonización automático para el diseño de su compensador. Esto le ayudará en el diseño inicial que satisfaga las especificaciones de diseño.

V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.
- [2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.
- [3] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [4] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.




“DISEÑO DE CONTROLADORES DE LA FAMILIA PID”

➤ Escriba falso o verdadero según corresponda

1. Si un controlador PD es diseñado para que las raíces de la ecuación característica tengan mejor amortiguamiento que el sistema original, el sobrepaso máximo del sistema siempre se reduce..... F V
2. Un sistema compensado con un controlador PD es por lo regular más robusto que un sistema compensado con un controlador PI..... F V
3. Una vez que el valor de K_D de un controlador PD está fijo, al incrementar el valor de K_p se incrementa el margen de fase en forma monótona..... F V
4. El segundo método de sintonización de Ziegler-Nichols se emplea para aquellos sistemas cuya respuesta al escalón tiene forma de S..... F V
5. La sintonización del controlador es el proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño..... F V
6. En ambos métodos de Ziegler-Nichols se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta al escalón..... F V
....



 Preguntas de selección múltiple

1. Un controlador PD diseñado adecuadamente afectará el desempeño de un sistema de control en las formas siguientes:
 - a) Mejora el amortiguamiento y reduce el sobrepaso máximo.
 - b) Incrementa el ancho de banda.
 - c) Puede acentuar el ruido en altas frecuencias.
 - d) Todas las anteriores.

2. Un controlador PI diseñado adecuadamente afectará el desempeño de un sistema de control en las formas siguientes:
 - a) Disminuye el tiempo de levantamiento.
 - b) Empeora el margen de ganancia, el margen de fase y M_r .
 - c) Aumenta el ancho de banda.
 - d) Ninguna de las anteriores.



Asociación de conceptos

Método de sintonización válido sólo para plantas estables en lazo abierto.

Controlador

Acción de control que da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado.

Acción PD

Componente del sistema de control que detecta los desvíos existentes entre el valor medido por un sensor y el valor deseado.

Método de oscilación de Ziegler-Nichols

Acción de control en la cual la velocidad de cambio de la señal de entrada se utiliza para determinar el factor de amplificación, calculando la derivada de la señal.

Acción I

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.

“DISEÑO DE CONTROLADORES DE LA FAMILIA PID”

I. PROPÓSITOS

- Diseñar controladores PD, PI y PID analíticamente usando la función de transferencia del sistema y las medidas de desempeño.
- Sintonizar empíricamente controladores de la familia PID usando la función de transferencia y las medidas de desempeño.

II. PRE-SABERES

- Controladores P, PD, PI, PID.
- Controladores de adelanto atraso.
- Diseño analítico de controladores PI, PD, PID.
- Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID.

III. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN LA PRÁCTICA

- Calcular el valor de los parámetros que determinan la función de transferencia de los controladores P, PI, PD y PID que cumplan con las especificaciones de diseño, mediante la forma algebraica.
- Calcular el valor de los parámetros que determinan la función de transferencia de un controlador PID que cumpla con las especificaciones de diseño, mediante el primer y segundo método de sintonización de Ziegler-Nichols.



IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

- Para un buen desempeño en el laboratorio fundaméntese adecuadamente en los conceptos teóricos necesarios para desarrollar la práctica.
- Recuerde que el primer método de Ziegler–Nichols sólo es aplicable a cierto tipo de sistemas.
- Es necesario que cuente con un método de sintonización alternativo en caso que Ziegler–Nichols no funcione adecuadamente.

- Determine si es posible aplicar el primer método de Ziegler-Nichols a su sistema.
- De ser posible lo anterior, siga el método para sintonizar un controlador P, PI y PID y escoja el que mejor se adapte a su sistema de acuerdo a las especificaciones de diseño. De lo contrario utilice el segundo método de Ziegler-Nichols y realice el mismo procedimiento.
- Implemente físicamente el controlador a su sistema y observe el comportamiento del mismo.
- En caso que su sistema no se comporte como esperaba, implemente un método alternativo de sintonización y realice los cambios necesarios a su diseño. Observe el comportamiento del sistema.
- Si con ningún método obtuvo resultados satisfactorios, ajuste en el sitio el controlador y registre los nuevos datos.

“DISEÑO DE CONTROLADORES DE LA FAMILIA PID”

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- Calcule analíticamente los valores de los parámetros que determinan la función de transferencia de los controladores P, PI, PD y PID para su sistema y compare sus resultados con los obtenidos en la práctica.
- Si los métodos de Ziegler-Nichols no dieron los resultados esperados, justifique el por qué.
- En dado caso que fuera necesario implementar un método alternativo de sintonización, explique en qué consistió dicho método y los resultados obtenidos.
- Llene la siguiente tabla para el controlador escogido:

Método	K	Ti	Td
Ziegler-Nichols			
Alternativo			
Ajuste in-situ			
Analítico			

Tabla 7. 2 Parámetros que determinan la función de transferencia del controlador

- ¿Se cumplieron todos los requerimientos de diseño para el sistema con el controlador implementado? Justifique su respuesta gráfica y analíticamente.
- Observaciones y Conclusiones.

**ANEXO K. GUÍA “DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA
ADELANTO-ATRASO”**

“DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO-ATRASO”

I. PROPÓSITOS

- Diseñar un compensador de adelanto, atraso o adelanto-atraso mediante la técnica del lugar geométrico de las raíces usando la función de transferencia del sistema, la ganancia "k" u otro parámetro que permita la ubicación de los polos.

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

➤ Técnicas de compensación de adelanto, atraso, adelanto-atraso basadas en el lugar de las raíces con implementación.

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3], [4]

- Tenga claro el efecto tanto en el sistema como en la estabilidad del mismo que ocasiona la adición de polos y ceros a la función de transferencia en lazo abierto cuando se está diseñando un compensador con el lugar geométrico de las raíces.
- Tenga presente que cuando se diseña un sistema de control si se requiere un ajuste diferente al de la ganancia se debe modificar el lugar geométrico de las raíces originales, para cumplir con las especificaciones de diseño.

- ➡ Haga una comparación acerca de la cantidad de componentes que debe utilizar de acuerdo a la ubicación del compensador en el sistema.

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA A CONTROLAR

↻ Velocidad de rotación del disco duro

- ➡ Velocidad a la que giran los platos del disco duro que es donde se almacena magnéticamente la información, a mayor velocidad de rotación más alta será la velocidad de transferencia de datos, pero también mayor será el ruido y el calor generado se mide en (rpm) revoluciones por minuto, hay discos de 7200 rpm, de 1000rpm un promedio de velocidad con transferencia de datos puede ser a una velocidad de 5400 rpm permitirá una transferencia entre 10 MB y 16 MB por segundo.

↻ Tiempo de acceso

- ➡ Es el tiempo medio necesario que tarda la cabeza del disco en acceder a los datos que necesitamos realmente es la suma de varios tiempos, el tiempo que tarda el disco de cambiar de una cabeza a otra cuando buscas datos, el tiempo que tarda la cabeza lectora en buscar la pista con los datos saltando de una a otra y el tiempo que tarda la cabeza lectora en buscar el sector dentro de la pista, lo normal son 10 ms.

↻ Tasa de transferencia

- ➡ Este número indica la cantidad de datos un disco puede leer o escribir en la parte más exterior del disco o plato en un periodo de un segundo. Normalmente se mide en Mbits/segundo, y hoy en día, en un disco de 5400 rpm, un valor habitual es de 100 Mbits/s [5]

- Tenga presente las especificaciones de diseño en el sistema, ya que estas traen información del desempeño del mismo.
- Compruebe los puntos críticos del sistema bajo condiciones de trabajo que requieran una sobrecarga en el funcionamiento del mismo.

Observe el ambiente de trabajo para el cual su sistema fue diseñado, por medio de videos o de ser posible contacto visual directo.

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

- **rlocus**
Dibuja el lugar de las raíces
- **sgrid**
Grilla sobre el lugar geométrico de las raíces
- **rlocfind**
Determina los polos y la ganancia en un punto del lugar de las raíces.
- **Sisotool**
Permite usar una interfaz grafica para el análisis y diseño de sistemas y compensadores.



V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.
- [2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.
- [3] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [4] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.
- [5] “<http://www.monografias.com/trabajos/discoduro/discoduro.shtml>”



“DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO-ATRASO”

 Escriba falso o verdadero según corresponda

1. La adición de un polo a la función de transferencia en lazo abierto tiene el efecto de jalar el lugar geométrico de las raíces a la izquierda..... V F
2. El método del lugar geométrico de las raíces es un enfoque gráfico, que permite determinar las ubicaciones de todos los polos en lazo cerrado, a partir de las ubicaciones de los polos y ceros en lazo abierto conforme algún parámetro varía desde cero hasta infinito... V F
3. La compensación en adelanto se utiliza cuando el sistema no cumple las especificaciones transitorias y un solo ajuste de ganancia no es suficiente..... V F
4. La compensación en atraso se utiliza cuando el sistema cumple con las especificaciones transitorias y no las de estado estacionario..... V F
5. La inserción del compensador siempre se hace en el lazo de realimentación..... V F
6. La inserción de un cero en la función de transferencia en lazo abierto, hace que el sistema sea estable y a la vez acelera el asentamiento de la respuesta..... V F



↗ Preguntas de selección múltiple

- 1.Cuál es el compensador que mejora la respuesta transitoria y a la vez la respuesta en estado estable del sistema.
 - a) Compensador en adelanto-atraso.
 - b) Compensador en atraso.
 - c) Compensador en adelanto.
 - d) Compensador universal.

2. La adición de un cero a la función de transferencia de lazo abierto tiene el efecto de
 - a) Desacelerar el asentamiento de la respuesta del sistema.
 - b) Jalar el lugar geométrico de las raíces hacia la izquierda.
 - c) Jalar el lugar geométrico de las raíces hacia abajo.
 - d) Todas las anteriores.



↻ Asociación de conceptos:

Pasos de diseño para la compensación en atraso mediante el método del lugar geométrico de las raíces.

1 Calcule la constante de error estático especificada en el problema.

2 Determine el polo y el cero del compensador de atraso que produce el incremento necesario en las constantes de error estático.

3 Dibuje una nueva grafica del lugar geométrico de las raíces para el sistema no compensado. Localice los polos dominantes en lazo cerrado deseados sobre el lugar geométrico de las raíces.

4 Ajuste la ganancia K_c del compensador a partir de la condición de magnitud.

5 Determine el incremento necesario en la constante de error estático para satisfacer las especificaciones

Suponga que la función de transferencia en el compensador es

6

$$G_c(s) = \hat{K}_c \beta \frac{T_s + 1}{\beta T_s + 1} = \hat{K}_c \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\beta T}}$$

7 Dibuje la grafica del lugar de las raíces para el sistema no compensado, cuya función de transferencia en lazo abierto sea $G(s)$.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.

“DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO-ATRASO”

I. PROPÓSITOS

- Diseñar un compensador de adelanto, atraso o adelanto-atraso mediante la técnica del lugar geométrico de las raíces usando la función de transferencia del sistema, la ganancia "k" u otro parámetro que permita la ubicación de los polos.

II. PRE-SABERES

- Técnicas de compensación de adelanto, atraso, adelanto-atraso basadas en el enfoque del lugar de las raíces.
- Comparación de las respuestas escalón de los sistemas compensados con adelanto y no compensados, implementación física de un controlador de adelanto, comparación de las respuestas escalón y rampa unitaria de los sistemas compensados con atraso y no compensados.
- Implementación física de un compensador de atraso y un compensador de adelanto- atraso.

III. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN LA PRÁCTICA

- Calcular la posición deseada de los polos dominantes en lazo cerrado a partir de las especificaciones de desempeño requeridas en el dominio del tiempo.
- Calcular los valores de la ganancia, y la posición de los polos y ceros del compensador que permitan cumplir con las especificaciones de diseño
- Determinar los casos en donde posiblemente la implementación del compensador no alcance a cumplir con las especificaciones de diseño dadas.



- Calcular el valor de los parámetros que determinan la función de transferencia del compensador, mediante el diseño del lugar geométrico de las raíces que permita el cumplimiento de las especificaciones de diseño.

IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

- ↻ En muchos casos prácticos el solo ajuste de la ganancia proporciona una alteración suficiente del comportamiento del sistema, para cumplir con las especificaciones dadas.
 - ↻ Tenga presente la naturaleza de las señales del sistema, los niveles de potencia en los diferentes puntos, en la elección entre la compensación en serie o la compensación mediante realimentación.
- Identifique el tipo de compensador (adelanto, atraso, adelanto-atraso) que se amolda más a las especificaciones de desempeño de su sistema.
 - Calcule el valor de los parámetros de la función de transferencia del compensador mediante el diseño del lugar geométrico de las raíces.
 - Obtenga la grafica del lugar geométrico de las raíces del sistema compensado y la respuesta al escalón unitario del sistema compensado y no compensado.
 - Implemente físicamente el compensador de su sistema y obtenga la respuesta al escalón unitario compensado y no compensado.

“DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO-ATRASO”

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- Calcule analíticamente el valor de los parámetros del compensador elegido para el sistema a través del diseño del lugar de las raíces.
- Justifique a través de un análisis escrito o simulado el porqué de la elección del compensador y la ubicación del mismo.
- En que afecto la estabilidad del sistema la inserción del compensador elegido, justifique su respuesta.
- ¿El desempeño real del sistema prototipo en la implementación difirió de las predicciones teóricas?, justifique su respuesta. De ser así usted como diseñador que propondría para ajustar los valores a las especificaciones de desempeño del sistema.
- Compare y analice la respuesta al escalón unitario compensada y no compensada obtenida teóricamente y la implementada físicamente ¿Cumplió con las especificaciones de diseño? Justifique su respuesta.
- Observaciones y Conclusiones.

**ANEXO L. GUÍA “DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA
ADELANTO-ATRASO”**

“DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO-ATRASO”

I. PROPÓSITOS

- Diseñar un compensador de adelanto, atraso o adelanto-atraso mediante la respuesta en frecuencia usando la función de transferencia del sistema y los criterios de desempeño calculados.

II. RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA

Se debe realizar la lectura y repaso de los siguientes temas:

➤ Técnicas de compensación de adelanto, atraso, adelanto-atraso con implementación, basadas en la respuesta en frecuencia.

Estos temas se encuentran en:

[1], [2], [3], [4]

- Dado que la función de transferencia de los elementos en cascada es el producto de sus funciones de transferencia individuales, es posible que coincidan ciertos polos o ceros, tenga claro cómo afectan esos polos a su sistema antes de hacer dichas cancelaciones, recuerde que una cancelación exacta es físicamente imposible.
- Las trazas polares son una herramienta útil a la hora de analizar el comportamiento del sistema compensado o no compensado compare estas trazas con las trazas de bode.
- En el análisis asistido por computadora nos concentramos en las funciones de transferencia de los compensadores, en los problemas

de diseño reales deben cumplirse restricciones de diseño tales como el costo el tamaño el peso y la confiabilidad, analice los valores obtenidos para cada compensador y su respectiva implementación.

III. INFORMACIÓN DEL SISTEMA A CONTROLAR

Velocidad de rotación del disco duro

- ➡ Velocidad a la que giran los platos del disco duro que es donde se almacena magnéticamente la información, a mayor velocidad de rotación más alta será la velocidad de transferencia de datos, pero también mayor será el ruido y el calor generado se mide en (rpm) revoluciones por minuto, hay discos de 7200 rpm, de 1000rpm un promedio de velocidad con transferencia de datos puede ser a una velocidad de 5400 rpm permitirá una transferencia entre 10 MB y 16 MB por segundo.

Tiempo de acceso

- ➡ Es el tiempo medio necesario que tarda la cabeza del disco en acceder a los datos que necesitamos realmente es la suma de varios tiempos, el tiempo que tarda el disco de cambiar de una cabeza a otra cuando buscas datos, el tiempo que tarda la cabeza lectora en buscar la pista con los datos saltando de una a otra y el tiempo que tarda la cabeza lectora en buscar el sector dentro de la pista, lo normal son 10 ms.

Tasa de transferencia

- ➡ Este número indica la cantidad de datos un disco puede leer o escribir en la parte más exterior del disco o plato en un periodo de un segundo. Normalmente se mide en Mbits/segundo, y hoy en día, en un disco de 5400 rpm, un valor habitual es de 100 Mbits/s [5]

- Tenga presente las especificaciones de diseño en el sistema, ya que estas traen información del desempeño del mismo.
- Compruebe los puntos críticos del sistema bajo condiciones de trabajo que requieran una sobrecarga en el funcionamiento del mismo.

Observe el ambiente de trabajo para el cual su sistema fue diseñado, por medio de videos o de ser posible contacto visual directo.

IV. FUNCIONES ÚTILES DE MATLAB

- **bode(sys)**
Computa la magnitud y fase de la respuesta en frecuencia del sistema LIT.
- **Sisotool**
Permite usar una interfaz grafica para el análisis y diseño de sistemas y compensadores.

V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.
- [2] “Sistemas de Control Automático”. Benjamin C Kuo. Séptima edición. Editorial Prentice Hall 1996.
- [3] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [4] “De la sintonización de Controladores” Rodrigo Correa, Jorge Quiroz, Rodolfo Villamizar. Primera edición. Marzo 2008, División de publicaciones UIS, Bucaramanga.
- [5] “<http://www.monografias.com/trabajos/discoduro/discoduro.shtml>”



“DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO-ATRASO”

↻ Escriba falso o verdadero según corresponda

1. La compensación de adelanto produce una frecuencia de cruce de ganancia más alta, que la que puede obtenerse con la compensación de atraso..... o V o F
2. La compensación de adelanto requiere de un incremento adicional en la ganancia, a fin de compensar la atenuación inherente a la red de adelanto..... o V o F
3. La compensación en atraso reduce la ganancia del sistema en las frecuencias más altas sin reducirlas en las frecuencias más bajas..... o V o F
4. Los cambios en el ambiente pueden cambiar las constantes de ganancia y de tiempo de un sistema..... o V o F
5. Un sistema de control ideal con función de transferencia unitaria puede construirse físicamente..... o V o F
6. El enfoque de la respuesta en frecuencia se aplica a los sistemas o componentes cuyas características dinámicas están dados en forma de datos de respuesta en frecuencia..... o V o F



↗ Preguntas de selección múltiple

1. Los compensadores de atraso son en esencia
 - a) Filtros pasa bajas.
 - b) Filtros pasa altas.
 - c) Filtros pasa todo.
 - d) Amplificadores de señal.

2. Un sistema cuyo atraso se compensa tiende a volverse
 - a) Menos estable.
 - b) Más estable.
 - c) Menos preciso
 - d) Ninguna de las anteriores.



↻ Asociación de conceptos:

Ordene los pasos para diseñar compensadores de atraso utilizando el enfoque de la respuesta en frecuencia.

- 1 Encuentre el punto de frecuencia en el cual el ángulo de fase de la función de transferencia en lazo abierto sea igual a -180° mas el margen de fase requerido.

Suponga el compensador de atraso

- 2
$$G_c(s) = K_c \beta \frac{T_s + 1}{\beta T_s + 1} = K_c \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\beta T}} \quad (\beta > 1)$$

- 3 Seleccione la frecuencia de esquina $\omega = 1/T$

- 4 Calcule la constante K_c .

- 5 Determine la atenuación necesaria para disminuir la curva de magnitud a 0 dB en la nueva frecuencia de cruce de ganancia, considerando que esta atenuación es de $-20 \log \beta$ determine el valor de β .

↻ BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Sistemas de Control Moderno”. Richard C Dorf. Decima Edición. Editorial Prentice Hall 2005.
- [2] “Ingeniería de Control Moderna”. Katsuhiko Ogata. Tercera edición. Editorial Prentice Hall 1998.



“DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO-ATRASO”

I. PROPÓSITOS

- Diseñar un compensador de adelanto, atraso o adelanto-atraso mediante la respuesta en frecuencia usando la función de transferencia del sistema y los criterios de desempeño calculados.

II. PRE-SABERES

- Técnicas de compensación de adelanto, atraso, adelanto-atraso basadas en el enfoque de la respuesta en frecuencia.
- Comparación de las respuestas escalón de los sistemas compensados con adelanto y no compensados, implementación física de un controlador de adelanto, comparación de las respuestas escalón y rampa unitaria de los sistemas compensados con atraso y no compensados.
- Implementación física de un compensador de atraso y un compensador de adelanto- atraso.

III. COMPETENCIAS A DESARROLLAR EN LA PRÁCTICA

- Calcular el valor de los parámetros que determinan la función de transferencia del compensador, mediante el diseño en frecuencia que permita el cumplimiento de las especificaciones de diseño.
- Determinar los casos en donde posiblemente la implementación del compensador diseñado en la frecuencia no alcance a cumplir con las características de desempeño requeridas.



IV. PROCEDIMIENTO

OBSERVACIONES

- Hay dos enfoques de diseño en el dominio de la frecuencia uno es la traza polar y el otro es la traza de bode.
- En el enfoque de la respuesta en frecuencia para el diseño de un sistema de control, se especifica el desempeño de la respuesta transitoria en forma indirecta es decir, por medio del margen de fase, margen de ganancia y la magnitud del pico de resonancia.

- Calcule el valor de los parámetros de la función de transferencia del compensador elegido mediante el enfoque de la respuesta en frecuencia.
- Obtenga las trazas de bode (magnitud y fase) para el sistema no compensado, el compensador y el sistema compensado.
- Obtenga las trazas polares del sistema no compensado y compensado.
- Obtenga la respuesta escalón unitario y la respuesta rampa unitaria del sistema compensado y no compensado.
- Implemente físicamente el compensador de su sistema y obtenga la respuesta al escalón unitario, rampa unitaria (compensado y no compensado).

“DISEÑO DE COMPENSADORES DE LA FAMILIA ADELANTO-ATRASO”

Una vez realizada la práctica en el laboratorio se debe entregar un informe, cuyo contenido se describirá a continuación.

I. INFORME

- Calcule analíticamente el valor de los parámetros del compensador elegido para el sistema a través del diseño mediante la respuesta en frecuencia y compárelas con las obtenidas en la práctica, ¿Que puede concluir al respecto? Justifique su respuesta.
- ¿Es posible que el ancho de banda y la ganancia de su sistema se vea afectado por la presencia del compensador? Que problemas o beneficios traería un aumento o disminución del ancho de banda y la ganancia en el mismo. justifique su respuesta.
- ¿El desempeño real del sistema prototipo en la implementación difirió de las predicciones teóricas?, De ser así proponga ajustes para hacer coincidan las dos respuestas. Analice y justifique las causas que llevaron a que el sistema no se comportara de la manera esperada.
- Compare y analice la respuesta al escalón unitario y rampa unitaria compensada y no compensada obtenida teóricamente y la implementada físicamente ¿Cumplió con las especificaciones de diseño? De no ser así que parte del proceso de diseño cree usted que influyo para que no se obtuvieran los resultados esperados, justifique su respuesta.
- Observaciones y Conclusiones.