Diseño, Desarrollo y Ejecución de la Interfaz Interactiva en el Aula Virtual de Aprendizaje UIS (Moodle) de la Asignatura Sistemas Dinámicos del Programa Académico de Ingeniería Mecánica.

Carlos Eduardo Patiño Becerra

Carlos Alberto Pinilla Mendoza

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Mecánico

Director

Jabid Eduardo Quiroga Méndez

Ingeniero mecánico de la Universidad Industrial de Santander

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

Tabla de Contenido

Pág.

Introducción 10

1. Formulación Del Problema 12

1.1 Identificación Del Problema 12

1.2 Justificación Para La Solución Del Problema. 14

1.3 Objetivos Del Trabajo De Grado 15

1.3.1 Objetivo General 15

1.3.2 Objetivos Específicos 15

2. Justificación De La Solución 16

3. Marco Teórico 18

3.1 Decreto 1330 Del 2019 18

3.2 Objetos de Aprendizaje 20

3.3 Tecnología de Información y Comunicación 23

3.4 Aula Virtual 24

3.5 Sistemas Dinámicos 25

3.5.1Introducción a los Sistemas Dinámicos 25

3.5.2 Modelamiento Matemático De Los Sistemas Dinámicos 27

3.5.3 Sistemas Mecánicos 28

3.5.4 Función de Transferencia 29

3.5.5 Análisis de Espacio de Estados 30

3.5.6 Sistemas Eléctricos y Electromecánicos 32

3.5.7 Sistemas Análogos 34

3.5.8 Sistemas De Fluidos Y Térmicos 34

3.5.9 Análisis de Dominio en la Frecuencia y el Tiempo 35

4. ELABORACIÓN DE LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE 36

4.1 Nuevas Diapositivas De Clase 36

4.2 Estructura Modular De La Asignatura 40

4.2.1 Módulo 1……...41

4.2.2 Módulo 2……. 41

4.2.3 Módulo 3……. 41

4.2.4 Módulo 4…… 41

4.3 Quices Cortos de Afianzamiento 42

4.3.1 Tipo De Pregunta: Falso/Verdadero 43

4.3.2 Tipo de Pregunta: Opción Múltiple 45

4.3.3 Tipo de Pregunta: Completar con Palabras Faltantes 46

4.4 Actividades Interactivas Acumulativas 47

4.4.1 Crucigrama…. 48

4.4.2 Millonario….. 49

4.4.3 Serpientes y Escaleras 50

4.4.1 Proyecto Audiovisual 52

4.5 Banco de Lecturas 52

4.6 Banco de Archivos de Soporte 54

4.7 Talleres Evaluativos 55

4.7.1 Taller 1: Transformadas Inversas de Laplace 56

4.7.2 Taller 2: Transfer Function y Sistemas Mecánicos..... 57

4.7.3 Taller 3: Espacio de Estados..... 58

4.7.4 Taller 4: Análisis De Dominio De La Frecuencia 58

5. Implementación De Los O.D.A En La Plataforma Moodle..... 59

6. Conclusiones..... 67

Referencias Bibliográficas..... 69

Apéndices..... 71

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Flujograma curso de Sistemas Dinámicos..... 13

Figura 2 Diagrama de Bloques OA..... 21

Figura 3 Composición del Objeto de Aprendizaje..... 22

Figura 4 Condiciones de Calidad de un Objeto de Aprendizaje..... 25

Figura 5 Diagrama de Bloques de una Función de Transferencia..... 29

Figura 6 Ecuación de una Función de Transferencia..... 30

Figura 7 Diagrama de Bloque de Ecuaciones E1 y E2..... 32

Figura 8 Sustitución de Figuras en Diapositivas de Clase..... 38

Figura 9 Sustitución de Ecuaciones en Diapositivas de Clase..... 38

Figura 10 Nuevas Diapositivas de Clase..... 39

Figura 11 Diseño de Pregunta: Falso/Verdadero..... 44

Figura 12 Diseño de Pregunta: Opción Múltiple..... 45

Figura 13 Diseño de Pregunta: Complete el espacio..... 47

Figura 14. Diseño de Actividad: Crucigrama..... 49

Figura 15 Diseño Actividad: Millonario..... 50

Figura 16 Diseño Actividad: Escaleras y Serpientes..... 51

Figura 17 Diseño de Bancos de Lecturas..... 54

Figura 18 Ejemplo de visualización archivo .mlx..... 55

Figura 19 Ejemplo de solución Taller 1 en MATLAB..... 56

Figura 20 Ejemplo de Solución Taller 2 en MATLAB..... 57

Figura 21. Ejemplo de solución Taller 3 en MATLAB 58

Figura 22 Ejemplo de solución Taller 4 en MATLAB 59

Figura 23 Plataforma Moodle: Módulo General 61

Figura 24 Cuestionario Pre-Saberes 62

Figura 25 Diseño de Pestaña: Aspectos Metodológicos 63

Figura 26 Diseño de Pestaña: Suscripción a WhatsApp 63

Figura 27 Diseño de Pestaña: Referencias del Curso 64

Figura 28 Plataforma Moodle: Módulo de Contenido(1) 65

Figura 29 Plataforma Moodle: Módulo de Contenido(2) 66

Lista de Figuras

Pág.

Apéndice A Resumen Libro Paginas 1-2 71

Apéndice B Resumen Libro Paginas 3-4 71

Apéndice C Resumen Libro Paginas 5-6 72

Apéndice D Resumen Libro Paginas 7-8 72

Apéndice E Resumen Libro Paginas 9-10 73

Apéndice F Resumen Libro Paginas 11-12 73

Apéndice G Resumen Libro Paginas 13-14 74

Apéndice H Resumen Libro Paginas 15-16 74

Apéndice I Resumen Libro Paginas 17-18 75

Apéndice J Resumen Libro Paginas 19-20 75

Apéndice K Resumen Libro Paginas 21-22 76

Apéndice L Resumen Libro Paginas 23-24 76

Apéndice M Resumen Libro Paginas 25-26 77

Apéndice N Resumen Libro Paginas 27-28 77

Apéndice O Resumen Libro Paginas 29-30 78

Apéndice P Resumen Libro Paginas 31-32 78

Resumen

Título: Desarrollo De Una Interfaz Virtual Interactiva En El Aula Virtual De Aprendizaje UIS (Moodle) De La Asignatura Sistemas Dinámicos.*

Autores: Carlos Eduardo Patiño Becerra – Carlos Alberto Pinilla Mendoza**

Palabras Claves: Moodle, Sistemas, Dinámicos, Aprendizaje, Virtual, Digital, Tecnología.

Descripción:

En la actualidad los modelos de educación virtuales nacionales a pesar de los avances de las tecnologías emergentes están muy lejos de ser competentes con las instituciones internacionales. La UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER en su camino por ser reconocida en el entorno nacional e internacional como una comunidad intelectual, ética y diversa, abierta a nuevas formas de pensamiento y que gestiona el conocimiento para el avance y la transformación de la sociedad y la cultura hacia el mejoramiento de la calidad de vida, ha implementado herramientas digitales para mejorar la calidad y el alcance de sus cursos, sin embargo, muchos de estos aún no hacen uso de los recursos disponibles y se limitan a seguir metodologías que hoy por hoy son obsoletas en otras partes del mundo.

La asignatura de Sistemas Dinámicos hace parte de las materias electivas del pensum de Ingeniería Mecánica, y, a pesar de que es una materia optativa es de gran importancia ya que relaciona un gran número de temas que se frecuentan a lo largo de toda la carrera con los sistemas de control.

Este proyecto tiene como objetivo principal desarrollar y ejecutar la interfaz interactiva en el aula virtual de aprendizaje UIS (Moodle) de la asignatura Sistemas Dinámicos del programa académico de Ingeniería Mecánica con el fin de contribuir con la proyección que la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER tiene para el año 2030.

Adicionalmente, se pretende crear nuevos objetos de aprendizaje que permitan fortalecer las debilidades de los estudiantes en algunos temas que suelen representar un obstáculo de la asignatura. Además de afianzar los conceptos teóricos, estructurando y suministrado de manera pertinente la información, también se busca integrar un sistema de constante interacción estudiante-docente abriendo nuevos canales de comunicación.

---

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Jabid Eduardo Quiroga Méndez, Ingeniero Mecánico.

Abstract

Title: Development of An Interactive Virtual Interface in the Virtual Learning Classroom UIS (Moodle) Of the Subject Dynamic Systems. *

Authors: Carlos Eduardo Patiño Becerra – Carlos Alberto Pinilla Mendoza**

Keywords: Moodle, Systems, Dynamics, Learning, Virtual, Digital, Technology.

Description:

Currently, national virtual education models, despite the advances in emerging technologies, are far from being competent with international institutions. The INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER on its way to be recognized in the national and international environment as an intellectual, ethical, and diverse community, open to new ways of thinking and that manages knowledge for the advancement and transformation of society and culture towards the improvement of the quality of life, has implemented digital tools to improve the quality and scope of its courses, however, many of these still do not make use of the available resources and are limited to methodologies that are currently obsolete in other parts of the world.

The subject of Dynamic Systems is part of the elective subjects of the Mechanical Engineering curriculum, and even though it is an optional subject, it is of great importance since it relates many topics that are frequent throughout the entire career with control systems.

The main objective of this project is to develop and execute the interactive interface in the UIS virtual learning classroom (Moodle) of the Dynamic Systems subject of the Mechanical Engineering academic program to contribute to the projection that the INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER has for the year 2030.

Additionally, it is intended to create new learning objects that allow strengthening the weaknesses of the students in some subjects that usually represent an obstacle in the subject. In addition to fortify the theoretical concepts, structuring and providing information in a pertinent manner, it also seeks to integrate a system of constant student-teacher interaction, opening new channels of communication.

---

*Bachelor thesis

**Faculty of physical mechanical engineering. School of Mechanical Engineering. Director Jabid Eduardo Quiroga Méndez, Mechanical Engineer.

Introducción

En pleno siglo veintiuno en donde la ciencia aparenta no tener límite alguno, la sociedad crece día tras día a pasos agigantados y los avances tecnológicos no se detienen. Los métodos de enseñanza y aprendizaje no son la excepción, continuamente sufren cambios positivos con el fin de mejorar la calidad de la transmisión de la información y el alcance de esta.

Si bien se sabe que la información tradicionalmente se adquiría a través de métodos bibliográficos físicos, no es un secreto que en plena época tecnológica más del 90% del material escrito se encuentra digitalizado y publicado en el internet y cada vez es más fácil adquirir información, y a diferente contenido educativo didáctico digital.

Actualmente los centros educativos de todo el mundo se vieron afectados por un acontecimiento que acondicionó la forma de impartir clases y transmitir el conocimiento de sus docentes. El COVID-19 generó un gran impacto en todos los sectores sociales del mundo, y las actividades remotas a través de la red se hicieron fundamentales para afrontar las necesidades y continuar con el progreso.

Eventualmente las falencias de esta solución improvisada salieron a la luz y expusieron una gran cantidad de problemas. Siendo la educación uno de los sectores más afectados, la baja calidad de las clases de modalidad remota y el paupérrimo nivel con el que los estudiantes lograban completarlas implicó una reestructuración completa de los métodos de evaluación y distribución del conocimiento.

La Universidad Industrial de Santander siendo parte de las instituciones afectadas optó por la elaboración de videoconferencias a través de salas virtuales en la que el docente gestiona su curso de manera remota y existía una interacción constante entre el estudiante y el maestro durante el periodo de tiempo que duraba la clase.

A pesar de que la institución ya cuenta con una plataforma virtual de aprendizaje, algunas cátedras no usan de manera adecuada este espacio, el cual podría ser una herramienta para que los alumnos pudieran acceder a toda la información de manera organizada y completa en cualquier momento surgió como necesidad de fortificar el proceso de aprendizaje autónomo.

2. Formulación del Problema

2.1 Identificación del Problema

La carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander cuenta con uno de los pensum más completos entre todas las universidades del país y cuenta con acreditación de alta calidad según la Resolución No. 9816 de 31 de julio de 2013. Actualmente, el programa está en el proceso de acreditación internacional ABET que involucra la autoevaluación del personal profesoral y administrativo, lo que conduce a la mejora continua.

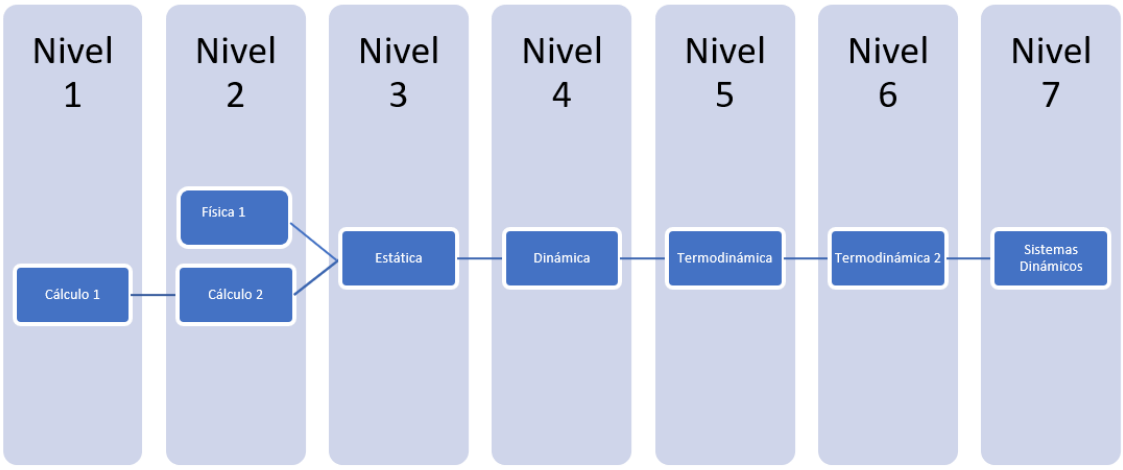
La Acreditación Internacional permitirá a futuros profesionales tener una sólida base educativa y ser líderes en la innovación de las tecnologías emergentes, adicionalmente a anticiparse a las necesidades de la comunidad.

Sin embargo, adquirir el reconocimiento de la comunidad educativa internacional no es un proceso rápido ni mucho menos sencillo y el cual requiere de todo el apoyo del profesorado y los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander, ya que los cursos tienen que ser muy completos y cumplir con altos niveles de calidad.

Es por eso por lo que todas las asignaturas de la universidad cuentan con diversos espacios y herramientas que logran aumentar la disponibilidad de los recursos que tienen los estudiantes para adquirir conocimiento. No obstante, debido a que la universidad aún se encuentra en un periodo de transición, no todas las asignaturas hacen uso de dichos mecanismos.

Cómo bien se sabe la universidad brinda una amplia gama de cursos electivos para cada carrera, de esta manera los estudiantes pueden profundizar sus conocimientos en el área que más les llame la atención. La asignatura de Sistemas Dinámicos al ser una de estas materias electivas también cuenta con las herramientas necesarias para potenciar su alcance y mejorar sus resultados finales en los conocimientos que adquieren los estudiantes.

Figura 1 *Flujograma curso de Sistemas Dinámicos*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

Aunque la asignatura de Sistemas Dinámicos no se encuentre en la línea principal de la carrera, no significa que carezca de importancia, y como se puede ver en la figura 1. Es necesario haber cursado los primeros 6 de los 10 niveles del pensum tradicional, esto significa una gran cantidad de información previa para poder comprender todos los conceptos que se trabajan allí.

Teniendo en cuenta todo lo anterior es posible decir que es fundamental desarrollar objetos de aprendizaje que contribuyan con el proceso de enseñanza y facilite la comprensión de la asignatura en general.

2.2 Justificación para la Solución del Problema.

En la actualidad, los medios tecnológicos han alcanzado un nivel muy avanzado y todo apunta a que seguirán evolucionando durante los próximos años con gran velocidad. Este desarrollo acelerado implica grandes cambios en todos los sectores de la sociedad y el sector educativo no es la excepción, de la misma manera deben ser considerados e implementados de forma íntegra para lograr enriquecer las capacidades de un estudiante en formación.

La Universidad Industrial de Santander, en búsqueda de optimizar el aprendizaje y la pedagogía, ha optado por recurrir a herramientas tecnológicas con la finalidad de mejorar el desarrollo de la asignatura. Una de estas herramientas es la plataforma virtual de aprendizaje (Moodle). Esta plataforma es un medio eficaz y práctico para la docencia puesto que facilita la enseñanza y hace más didácticos los cursos.

Está claro que con la implementación de estas nuevas herramientas la calidad de los profesionales aumentará considerablemente, sin embargo, también implica un proceso de adaptación el cual requiere del apoyo del docente y del estudiantado para poder cumplir con las expectativas del proyecto.

Teniendo en cuenta que la asignatura sistemas dinámicos no posee curso en esta plataforma, se ha optado por diseñar, desarrollar y ejecutar este curso, con el fin de mejorar los resultados finales de la asignatura. Con este proyecto, se busca agregar documentos informativos, guías, evaluaciones, videos educativos, entre otros medios educativos que sean pertinentes a la temática con el fin de que quede lo más completo posible.

Si bien la asignatura de Sistemas Dinámicos no hace parte de la línea principal de la carrera de ingeniería mecánica, esta asignatura es la continuación de una línea muy importante del pensum y complementa la rama de la dinámica y termodinámica. Los sistemas dinámicos permiten obtener o predecir valores de una determinada magnitud para dar respuesta a problemas o necesidades del mundo real (físicas, económicas, médicas…). Son aquellos en los que su comportamiento cambia o evoluciona con el paso del tiempo y estas modificaciones o transformaciones de su estado pueden ser analizadas o modeladas mediante modelos matemáticos. (UNIR, 2021)

2.3 Objetivos del Trabajo de Grado

2.3.1 Objetivo General

Diseñar, desarrollar y ejecutar la interfaz interactiva en el aula virtual de aprendizaje UIS (Moodle) de la asignatura Sistemas dinámicos del programa académico de Ingeniería Mecánica. Contribuyendo de esta manera con la visión de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER en la formación de profesionales integrales, éticos con sentido político e innovadores.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Construir con base en las metas y proyectos de la asignatura, un objeto de aprendizaje que consista en talleres didácticos y evaluaciones acompañados con guías visuales y diverso contenido multimedia que funcione de apoyo para facilitar la comprensión de la asignatura
- Integrar de manera concisa e intuitiva en una interfaz interactiva a través de la plataforma virtual Moodle de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER con el propósito de que el estudiante pueda acceder de manera sencilla a toda la información correspondiente con la asignatura de Sistemas Dinámicos.

- Facilitar la comunicación entre el docente de la asignatura y el estudiante que cursa el programa de manera que funcione como un puente virtual entre ambas partes y se generen espacios de discusión fomentando el aprendizaje de los involucrados.

3. Justificación de la Solución

Día a día millones de artículos, libros y contenido informativo aparecen alrededor del mundo, los bancos de información son tan extensos que la búsqueda de conocimiento preciso y avanzado pasa a ser una tarea larga y desgastante. Aunque el acceso libre y gratuito a la red trae consigo muchas cosas positivas, también permite a los usuarios cargar cualquier tipo de archivo a la World Wide Web sin haber pasado anteriormente por algún filtro lo cual conlleva muchas veces en una distribución masiva de información falsa y la saturación de los canales de comunicación.

Por medio del desarrollo de objetos de aprendizaje y bancos de datos especializados, los estudiantes no tendrán que batallar para acceder al contenido necesario para su aprendizaje y completar satisfactoriamente sus cursos.

De igual manera se tiene en cuenta el **artículo 2.5.3.2.3.2.6** del decreto 1330. Investigación, innovación y/o creación artística y cultural, que busca que se establezcan estrategias para la investigación – creación, con el fin de que se desarrolle pensamiento crítico y/o creativo. Es definido por Ministerio de educación nacional (2019) como:

La institución deberá establecer en el programa las estrategias para la formación en investigación- creación que le permitan a profesores y estudiantes estar en contacto con los desarrollos disciplinarios e interdisciplinarios, la creación artística, los avances tecnológicos y el campo disciplinar más actualizado, de tal forma que se desarrolle el pensamiento crítico y/o creativo. El programa en coherencia con el nivel de formación, las modalidades (presencial, a distancia, virtual, dual u otros desarrollos que combinen e integren las anteriores modalidades), con la naturaleza jurídica, tipología, identidad y misión institucional, propenderá a que sus resultados de investigación contribuyan a la transformación social de las dinámicas que aporten a la construcción del país. Según la declaración explicita que realice el programa con relación a la incorporación de la investigación para el desarrollo del conocimiento, el programa deberá definir las áreas, líneas o temáticas de investigación en las que se enfocarán los esfuerzos y proyectos.

Con base en esto, se busca que el estudiante desarrolle características que le permitan desarrollar habilidades y tenga la capacidad y el criterio al momento de tomar decisiones. El ministerio de educación nacional (2019) considera necesario el hecho de reinventar ambientes de aprendizaje por medio del uso de la tecnología, y esto implica innovar procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación. Asimismo, menciona que el uso de las tecnologías para la educación facilita el acceso, permite desarrollar competencias y prepararse para la vida. La utilización de la tecnología no es propia de una modalidad, sino que es un medio que, a través de la innovación pedagógica transforma los ambientes.

4. Marco Teórico

4.1 Decreto 1330 Del 2019

Con la finalidad de garantizar un crecimiento para el estudiante en términos académicos, es importante tener en cuenta las normativas dadas por el ministerio de educación de Colombia, quien es el ente encargado de asegurar la calidad de educación.

Compete al Ministerio de Educación Nacional, entre otros objetivos, la operación del sistema de aseguramiento de la calidad de la educación superior, la pertinencia de los programas, la evaluación permanente y sistemática, la eficiencia y transparencia de la gestión para facilitar la modernización de las instituciones de educación superior, implementar un modelo administrativo por resultados y la asignación de recursos con racionalidad de estos. (Ministerio de educación nacional, 2019)

Para esto es importante utilizar la normativa del decreto 1330, la cual abarca temáticas pertinentes para el correcto desarrollo del curso propuesto, ya que este tiene como propósito regular los procesos de registro calificado y calidad académica.

Teniendo en cuenta esta normativa, se habla del **artículo 2.5.3.2.3.2.4.** Aspectos curriculares, el cual debe contar por lo menos con componentes formativos, componentes pedagógicos, componentes de interacción, conceptualización teórica y epistemológica del programa y mecanismos de evaluación. Es definido como:

La institución deberá diseñar el contenido curricular del programa según el área de conocimiento y en coherencia con las modalidades (presencial, a distancia, virtual, dual u otros desarrollos que combinen e integren las anteriores modalidades), los niveles de formación, su naturaleza jurídica, tipología e identidad institucional. (Ministerio de educación nacional, 2019)

En este artículo de definen los componentes de la siguiente manera:

Componentes formativos: se refieren a la definición del plan general de estudios, deberá estar representado en créditos académicos conforme con los resultados de aprendizaje proyectados, la formación integral, las actividades académicas que evidencien estrategias de flexibilización curricular, y los perfiles de egreso, en armonía con las habilidades del contexto internacional, nacional, y local orientadas en el desarrollo de las capacidades para aprender a aprender.

Componentes pedagógicos: se refieren a los lineamientos e innovación pedagógica y didáctica que cada institución integre al programa según su modalidad.

Componentes de interacción: Se refiere a la creación y fortalecimiento de vínculos entre la institución y los diversos actores en pro de la armonización del programa con los contextos locales, regionales y globales; así como, al desarrollo de habilidades en estudiantes y profesores para interrelacionarse. Asimismo, el programa deberá establecer las condiciones que favorezcan la internacionalización del currículo y el desarrollo de una segunda lengua.

Conceptualización teórica y epistemológica del programa: El programa deberá hacer referencia a los fundamentos teóricos del programa y a la descripción de la naturaleza del objeto de estudio y sus formas de conocimiento.

Mecanismos de evaluación: se refiere a los instrumentos de medición y seguimiento que permitan hacer los análisis necesarios para la oportuna toma de decisiones, con el propósito de mejorar el desempeño de profesores y estudiantes con relación a los resultados de aprendizaje establecidos en el programa. (Ministerio de educación nacional, 2019)

Teniendo en cuenta este artículo se puede tener más claridad al momento de definir el plan general de estudios y lineamientos pedagógicos. Asimismo, permitirá desarrollo de habilidades entre estudiantes y profesores para interrelacionarse, definirá fundamentos teóricos del programa y buscará mejorar los resultados de aprendizajes establecidos.

4.2 Objetos de Aprendizaje

Es necesario tener en cuenta que para el correcto desarrollo de un sistema conjunto de almacenamiento de información e interacción educativa es vital establecer objetos de aprendizaje ya que actualmente los requerimientos en cuanto a material virtual son muy comunes y deben permitir la divulgación del conocimiento y los materiales desarrollados por las personas e instituciones. Estos objetos de aprendizaje se diferencian respecto al material didáctico y los recursos educativos en cuanto a que estos últimos se representan en ‘’cualquier material que se puede utilizar con un fin didáctico o para el desarrollo de actividades formativas’’, un ejemplo sería una película que se analiza desde el punto de vista pedagógico , mientras que un material didáctico ‘’es el conjunto de elementos elaborados desde un principio con fines educativos para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje’’.

Finalmente, un objeto de aprendizaje según el Ministerio de Educación de Colombia (2006): Es un conjunto de recursos digitales, autocontenible y reutilizable, con un propósito educativo y constituido por al menos tres componentes internos: contenidos, actividades de aprendizaje y elementos de contextualización. El Objeto de Aprendizaje debe tener una estructura de información externa (metadatos) que facilite su almacenamiento, identificación y recuperación.

Beneficios de un objeto de aprendizaje:

- Incentivar la participación en redes de aprendizaje.
- Contribuir al desarrollo de competencias y habilidades para buscar, seleccionar, evaluar y adaptar materiales educativos.
- Pueden usarse tanto en la enseñanza presencial como en procesos de e-Learning.

- Facilitan el estudio independiente de los estudiantes, contribuyendo así a la formación de su autonomía frente al conocimiento.
- La interoperabilidad facilita el intercambio de contenidos, los cambios de plataformas, la durabilidad de los Objetos y las actualizaciones.

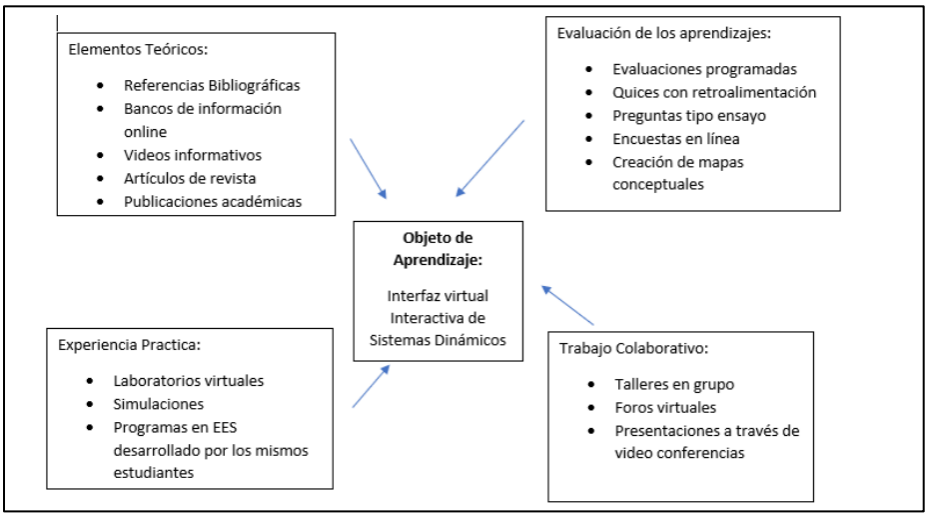
Teniendo esto en cuenta, un objeto de aprendizaje se puede representar en una imagen, una página de texto o cualquier tipo de recurso de información utilizado en el aprendizaje online. Para este proyecto el OA es el curso completo de la asignatura de Sistemas Dinámicos, a partir de lo anterior se debe desarrollar un diseño amigable con el usuario que facilite la adquisición de nuevo conocimiento, pero sin dejar de lado características como el uso de contenido reusable y el refuerzo de la información por medio de metadatos que adicionalmente serán de suma importancia a la hora de gestionar la identificación y localización de esta misma. El valor pedagógico de un OA se determina de acuerdo con unos componentes teóricos como lo son los objetivos, los contenidos, las actividades de aprendizaje y los elementos de contextualización.

Figura 2 *Diagrama de Bloques OA*

Autor: German Gregorio Aguilar Vega, Objetos de aprendizaje, WordPress.com

El valor pedagógico de un Objeto de Aprendizaje se determina de acuerdo con unos componentes como lo son los objetivos, los contenidos, las actividades de aprendizaje y los elementos de contextualización. En este caso los objetivos del OA van de la mano con los objetivos de la asignatura de Sistemas Dinámicos y serán ejecutados según la rúbrica ya establecida por el docente anteriormente, mientras que los contenidos y las actividades de aprendizaje de la plataforma educativa virtual de Moodle de la asignatura de Sistemas Dinámicos serán distribuidas de la siguiente manera:

Figura 3 *Composición del Objeto de Aprendizaje*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

4.3 Tecnología de Información y Comunicación

También conocidos como tecnologías de la información y comunicación, facilitan el acceso a información con el fin de facilitar la comunicación y el acceso a información. Son tecnologías que utilizan la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones para crear nuevas formas de comunicación a través de herramientas de carácter tecnológico y comunicacional, esto con el fin de facilitar la emisión, acceso y tratamiento de la información. (Claro, 2019)

A medida que el mundo avanza, la tecnología no se queda atrás, con base en esto es que herramientas como estas son tan importantes para el desarrollo, ya que facilitan el manejo de información y la comunicación interpersonal.

En el 2009 mediante el acuerdo 051, el consejo superior de la Universidad Industrial de Santander formuló la política de apoyo a la formación con TIC. Con esto pretendían la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación para desarrollar cursos más completos y procesos educativos más profundos teniendo como principio la participación de maestros, directivos y estudiantes. De esta manera los canales de comunicación serían más asequibles y se forjarían vínculos más estrechos, siendo los estudiantes los protagonistas, los profesores la fuente y banco principal de conocimiento, y los directivos responsables de acompañar y apoyar todo el proceso. Con base en esto en el año 2011 el Consejo Académico a través del acuerdo 277 aprobó un programa para la implementación de esta política.

Teniendo como base el acuerdo 277, el equipo encargado en TIC estableció algunos lineamientos para la implementación por niveles. Se decidió que se iba a realizar en dos niveles; en el primer nivel se tenía el objetivo principal el de ofrecer una formación básica en el uso de una plataforma (Moodle) con la intención de generar un espacio en línea en el cual se puedan desarrollar diversas actividades del curso. El segundo nivel consistía en el acompañamiento al docente para la implementación de experiencias de aprendizaje, de esta forma se realiza un seguimiento al diseño y montaje de los espacios en línea para el desarrollo general de la asignatura.

4.4 Aula Virtual

Es importante tener en cuenta el concepto de un aula virtual para facilitar el desarrollo del proyecto. Un aula virtual no es un aula en absoluto, más bien, define la conexión virtual entre el profesor y sus estudiantes. Con la configuración de un aula virtual, los profesores pueden impartir lecciones y mantenerse conectados con sus estudiantes mediante el uso de tecnología como, por ejemplo: videollamadas y conferencias, plataformas de chat o debates, evaluaciones en línea y más. (Jennifer Rees, 2020)carloca

Este tipo de aulas facilitó mucho la metodología de las clases ahora que se estuvo en emergencia sanitaria, sin embargo, su importancia no se debe solo a eso. Es importante porque permite alternar y dinamizar la metodología de estudio.

Para incorporar cursos virtuales en programas presenciales se deben cumplir ciertas condiciones de calidad que ya están establecidas.

Figura 4 *Condiciones de Calidad de un Objeto de Aprendizaje*

Condición de calidad	Descripción
Contenidos curriculares	Describir los lineamientos pedagógicos y didácticos para el desarrollo de los cursos virtuales dentro del programa - Modelo de virtualización.
Organización de las actividades académicas	En el modelo de virtualización definir la planificación de los cursos y el modelo de diseño instruccional. Desarrollar procesos de inducción y formación en la metodología con los estudiantes.
Personal docente	Diseñar mecanismos de formación para los docentes que acompañaran los cursos virtuales en cuanto a las nuevas actividades y uso de recursos (TIC, comunicación sincrónica y asincrónica, manejo de aulas virtuales, entre otros).
Medios educativos	Garantizar la disponibilidad de recursos bibliográficos en línea, bases de datos, equipos y aplicativos informáticos, sistemas de interconectividad, escenarios de simulación virtual de ser requeridos. Especificar el modelo de diseño de materiales que incluya las políticas de propiedad intelectual y derechos de autor.
Infraestructura	Contar con la disponibilidad de una plataforma apropiada, infraestructura de conectividad, estrategias metodológicas para su desarrollo, así como las estrategias de seguimiento. Determinar los nuevos requerimientos tecnológicos y de conectividad, Software que permita la producción de materiales, la disponibilidad de aulas virtuales y aplicativos para la administración de procesos de formación.
Estructura administrativa y académica	Contar con estructura organizativa, sistemas de información y mecanismos de gestión como soporte a los cursos virtuales. Garantizar el soporte de diseño, producción y montaje del material pedagógico.

Autor: Ministerio de Educación 2019

El cumplimiento de estas condiciones permitirá que el curso virtual se desarrolle de la mejor manera, garantizando un aprendizaje y crecimiento académico optimo.

4.5 Sistemas Dinámicos

4.5.1 Introducción a los Sistemas Dinámicos

Sistemas: Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente para alcanzar un objetivo específico. Un sistema se llama dinámico si su salida en el presente depende de una entrada en el pasado; si su salida depende solamente de la entrada en curso, el sistema se conoce como estático. En un sistema dinámico la salida cambia con el tiempo cuando no está en su estado de equilibrio.

Modelos matemáticos: Cualquier diseño de sistema debe empezar a partir de una predicción de su funcionamiento antes de que el sistema pueda diseñarse en detalle o construirse físicamente. Tal predicción se basa en una descripción matemática conocida como modelo matemático.

Para los sistemas físicos la mayoría de los modelos matemáticos que resultan útiles se describen en términos de ecuaciones diferenciales. La dinámica de sistemas trata del modelado matemático y el análisis de la respuesta de los sistemas dinámicos.

Ecuaciones diferenciales lineales y no lineales: Las ecuaciones diferenciales lineales pueden clasificarse en ecuaciones diferenciales lineales variantes en el tiempo e invariantes en el tiempo.

Una ecuación diferencial lineal invariante en el tiempo es aquella en la cual una variable dependiente y sus derivadas aparecen como combinaciones lineales. El siguiente es un ejemplo de esta clase de ecuación.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 5\frac{dx}{dt} + 10x = 0$$

Se le conoce también como ecuación diferencial lineal de coeficientes constantes. Una ecuación diferencial lineal variante en el tiempo, la variable dependiente y sus derivadas aparecen como combinaciones lineales, pero algunos de los coeficientes de los términos pueden involucrar a la variable independiente. El siguiente es un ejemplo de este tipo de ecuación diferencial.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (1 - \cos 2t)x = 0$$

Es importante recordar que con objeto de que sea lineal, la ecuación no debe contener potencias, productos u otras funciones de las variables dependientes y sus derivadas. Ejemplos de ecuaciones diferenciales no lineales.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (x^2 - 1)\frac{dx}{dt} + x = 0$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + x + x^3 = \operatorname{sen} \omega t$$

Sistemas lineales y sistemas no lineales: La propiedad más importante de los sistemas lineales consiste en que se les pueda aplicar el principio de superposición. Este establece que la respuesta producida por la aplicación simultánea de dos funciones de excitación diferentes o entradas, es la suma de dos respuestas individuales. En los sistemas lineales la respuesta a varias entradas puede calcularse tratando una entrada cada vez y después sumando los resultados.

En los sistemas no lineales, la característica más importante es que el principio de superposición no es aplicable. En general, los procedimientos para encontrar la solución de problemas que involucran tales sistemas son extremadamente complicados. A causa de la dificultad matemática que representan los sistemas no lineales, con frecuencia es necesario linealizarlos alrededor de una condición de operación.

4.5.2 Modelamiento Matemático De Los Sistemas Dinámicos

Elaboración de modelos matemáticos: Al aplicar leyes físicas a un sistema específico es posible desarrollar un modelo matemático que describa al sistema. Sin embargo, algunas veces las leyes físicas que gobiernan el comportamiento de un sistema no están completamente definidas, y la formulación de un modelo matemático puede resultar imposible. De ser así, se puede utilizar un procedimiento de modelado experimental.

Simplicidad contra exactitud: Cuando se intenta construir un modelo, debe establecerse un equilibrio entre la simplicidad del modelo y la exactitud de los resultados del análisis. Es importante notar que los resultados obtenidos en el análisis son válidos en la medida en que el modelo se aproxime al sistema físico dado. Si no se requiere de una exactitud extrema, es preferible desarrollar un modelo razonablemente simplificado.

Para determinar un modelo razonablemente simplificado, se necesita decidir cuáles de las variables y relaciones físicas pueden despreciarse y cuáles son cruciales en la exactitud del modelo. Con objeto de obtener un modelo en la forma de ecuaciones diferenciales lineales, se deben despreciar cualesquiera parámetros distribuidos y las no linealidades que pueden estar presentes en el sistema físico. Si los efectos que estas propiedades ignoradas tienen en la respuesta son pequeños, entonces los resultados del análisis del modelo matemático y los resultados del estudio experimental del sistema físico serán satisfactorios.

Cuando se resuelve un problema nuevo, usualmente conviene construir primero un modelo simplificado para obtener una idea general en torno a la solución. Posteriormente puede construirse un modelo matemático más detallado y usarlo para un análisis más completo.

4.5.3 Sistemas Mecánicos

Un sistema mecánico es un conjunto de componentes físicos que convierten un movimiento y una fuerza de entrada en un movimiento y una fuerza de salida deseados. Los sistemas mecánicos tienen al menos tres elementos: entrada, proceso y salida.

La parte de entrada del sistema es cualquier tipo de movimiento y fuerza que impulsa el sistema mecánico. El movimiento y la fuerza de entrada pueden provenir de cualquier fuente de

energía, incluido el esfuerzo humano, la energía del viento, el agua, el calor, etc., de una reacción química o de un dispositivo eléctrico, neumático o hidráulico.

4.5.4 Función de Transferencia

Una función de transferencia representa la relación entre la señal de salida de un sistema de control y la señal de entrada, para todos los valores de entrada posibles. Un diagrama de bloques es una visualización del sistema de control que utiliza bloques para representar la función de transferencia y flechas que representan las diversas señales de entrada y salida. Para cualquier sistema de control, existe una entrada de referencia conocida como excitación o causa que opera a través de una operación de transferencia (es decir, la función de transferencia) para producir un efecto que resulta en una salida o respuesta controlada.

Figura 5 *Diagrama de Bloques de una Función de Transferencia*

Autor: Carlos F. Martín, diseño de controles analógicos con técnicas del control clásico.

Según el libro de Sistemas Dinámicos de Katsuhiko Ogata la función de transferencia de un sistema de ecuaciones diferenciales lineal e invariante en el tiempo se define como la relación entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función impulsora) bajo el supuesto de que todas las condiciones iniciales son cero.

Figura 6 *Ecuación de una Función de Transferencia*

$$\text{Transfer function} = G(s) = \left.\frac{\mathcal{L}[\text{output}]}{\mathcal{L}[\text{input}]}\right|_{\text{zero initial conditions}} = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1} s + a_n}$$

Autor: Katsuhiko Ogata, System Dynamics

4.5.5 Análisis de Espacio de Estados

En la actualidad los sistemas dinámicos tienden a ser más complejos, ya que requieren tareas complejas con alta precisión. Los sistemas complejos, pueden tener múltiples entradas y múltiples salidas. Estos sistemas pueden ser lineales o no lineales, y pueden o no variar en el tiempo. Un enfoque muy bueno para tratar dichos sistemas es el enfoque de espacio de estado basado en el concepto de estado.

Un espacio de estados es el espacio $n\text{-}dimensional$ cuyos ejes de coordenadas consisten en $x_1\text{-}axis, x_2\text{-}axis, \ldots, x_n\text{-}axis$. Cada estado puede ser representado por un punto en el espacio de estados.

En el análisis de espacio de estados se proponen tres tipos de variables que se requieren en el modelado de sistemas dinámicos; las variables de entrada, de salida y las variables de estado. Si un sistema es lineal y no varía en el tiempo y es descrito por n variables de estado, r variables de entrada y m variables de salida, entonces la ecuación de estado tendrá la siguiente forma:

$$x_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}\dot{x_n} + b_{11}u_1 + b_{12}u_2 + \cdots + b_{1r}u_r$$

$$x_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n + b_{21}u_1 + b_{22}u_2 + \cdots + b_{2r}u_r$$

$$\vdots$$

$$x_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n + b_{n1}u_1 + b_{n2}u_2 + \cdots + b_{nr}u_r$$

Donde los coeficientes $a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}\ y\ d_{ij}$ son constantes, algunos podrían ser cero. Si usamos la expresión matriz-vector, esas ecuaciones pueden ser escritas como

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{Ax} + \boldsymbol{Bu} \qquad (\boldsymbol{E1})$$

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{Cx} + \boldsymbol{Du} \qquad (\boldsymbol{E2})$$

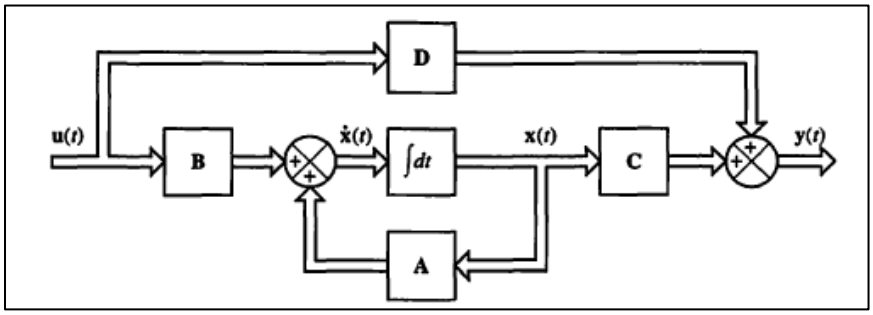
Donde:

$$\boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{x_1} \\ \boldsymbol{x_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{x_n} \end{bmatrix}, \boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{a_{11}} & \boldsymbol{a_{12}} & \dots & \boldsymbol{a_{1n}} \\ \boldsymbol{a_{21}} & \boldsymbol{a_{22}} & \dots & \boldsymbol{a_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \boldsymbol{a_{n1}} & \boldsymbol{a_{n2}} & \dots & \boldsymbol{a_{nn}} \end{bmatrix}, \boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{b_{11}} & \boldsymbol{b_{12}} & \dots & \boldsymbol{b_{1r}} \\ \boldsymbol{b_{21}} & \boldsymbol{b_{22}} & \dots & \boldsymbol{a_{2r}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \boldsymbol{b_{n1}} & \boldsymbol{b_{n2}} & \dots & \boldsymbol{b_{nr}} \end{bmatrix}, \boldsymbol{u} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{u_1} \\ \boldsymbol{u_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{u_r} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{y} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{y_1} \\ \boldsymbol{y_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{y_m} \end{bmatrix}, \boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{c_{11}} & \boldsymbol{c_{12}} & \dots & \boldsymbol{c_{1n}} \\ \boldsymbol{c_{21}} & \boldsymbol{c_{22}} & \dots & \boldsymbol{c_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \boldsymbol{c_{m1}} & \boldsymbol{c_{m2}} & \dots & \boldsymbol{c_{mn}} \end{bmatrix}, \boldsymbol{D} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{d_{11}} & \boldsymbol{d_{12}} & \dots & \boldsymbol{d_{1r}} \\ \boldsymbol{d_{21}} & \boldsymbol{d_{22}} & \dots & \boldsymbol{d_{2r}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \boldsymbol{d_{m1}} & \boldsymbol{d_{m2}} & \dots & \boldsymbol{d_{mr}} \end{bmatrix}$$

Las matrices A, B, C y D son llamadas matriz de estado, matriz de entrada, matriz de salida y matriz de transmisión directa, respectivamente. Los vectores x,u y y son el vector de estado, vector de entrada y vector de salida, respectivamente. La figura 8, muestra un diagrama de bloque que representa las ecuaciones (E1) y (E2).

Figura 7 *Diagrama de Bloque de Ecuaciones E1 y E2*



Autor: Katsuhiko Ogata, System Dynamics

4.5.6 Sistemas Eléctricos y Electromecánicos

Los sistemas eléctricos, también llamados circuitos o redes, son aquellos que generalmente están compuestos a partir de la combinación de tres componentes fundamentales resistor, capacitor e inductor. Los cuales estarían definidos correspondientemente por: resistencia, capacitancia e inductancia. Además de estos componentes eléctricos primarios, también analizamos las fuentes de voltaje o corriente, que producen el movimiento de los electrones en un circuito eléctrico, que son las contrapartes de las fuerzas o momentos en los sistemas mecánicos. El objetivo de este capítulo es formular modelos matemáticos con métodos de análisis de circuitos eléctricos y encontrar y caracterizar las respuestas naturales, libre amortiguada y forzada de los sistemas eléctricos mediante el uso de MATLAB y Simulink. También se estudian las analogías entre los sistemas eléctricos y mecánicos.

Asimismo, encontramos sistemas electromecánicos en donde se busca que la energía eléctrica se transforme en energía mecánica es decir que por medio de la electricidad se pueda generar un torque. En la actualidad los sistemas electromecánicos son de suma importancia para el desarrollo de la humanidad, ya que no solo se utilizan en el sector industrial, sino que además

se encuentran fácilmente en cualquier lado, desde las ventanas eléctricas de un vehículo, hasta en lavadoras y secadoras. Los motores eléctricos, servomotores y solenoides son algunos de los sistemas electromecánicos que podemos encontrar.

4.5.7 Sistemas Análogos

Al igual que los sistemas digitales, los sistemas análogos se utilizan para transmitir información, usualmente por medio de señales eléctricas. Sin embargo, la diferencia radica en que los sistemas analógicos la información es transmitida por medio de pulsos eléctricos (señales continuas) variando su amplitud y en los sistemas digitales se hace uso de un sistema binario en donde cada bit de información representa dos amplitudes distintas. Asimismo, una onda de señal de un sistema análogo es de carácter sinusoidal y en un sistema binario son ondas cuadradas.

Adicionalmente, según el libro de Katsuhiko Ogata son aquellos sistemas que pueden ser representados por el mismo modelo matemático, pero que son físicamente diferentes. Así, se describen sistemas análogos por las mismas ecuaciones diferenciales o integro diferenciales o funciones de transferencia.

4.5.8 Sistemas De Fluidos Y Térmicos

Al ser el medio más versátil para transmitir señales y potencia, los fluidos abarcan un gran campo en la industria. En el campo de la ingeniería se describe como hidráulico los sistemas de fluido que utilizan líquidos y sistemas neumáticos aquellos que hacen uso de gases o aire. Generalmente los modelos matemáticos de los sistemas de fluidos son no lineales, sin embargo, si se asume que la operación de un sistema no lineal es cercana a un punto de operación, entonces el sistema puede ser linealizado cerca de dicho punto de operación.

4.5.9 Análisis de Dominio en la Frecuencia y el Tiempo

Este módulo trata sobre el análisis en el dominio del tiempo y de frecuencia de sistemas dinámicos. Se analiza en detalle el análisis de respuesta transitoria de sistemas de primer orden, sistemas de segundo orden y sistemas de orden superior. Se incluyen soluciones analíticas de ecuaciones de espacios de estados. Adicionalmente se presenta la función de transferencia sinusoidal, seguido del análisis de vibraciones de sistemas mecánicos y discusiones sobre amortiguadores dinámicos de vibraciones. Finalmente, se analizan los modos de vibración en sistemas de dos o más grados de libertad.

El análisis dinámico de sistemas estructurales se puede realizar por métodos TD y FD. Los métodos TD se derivan de la función de transferencia de impulso unitario y la integral de convolución, mientras que los FD se derivan de la función de respuesta de frecuencia compleja a través de las transformadas de Fourier. La estricta relación entre ambos métodos es consecuencia de que la función de transferencia unidad-impulso y la función de respuesta de frecuencia compleja constituyen un par de transformadas de Fourier (Venancio Filho A, F.; Claret, A. Y Barbosa, 2019)

En MATLAB, System Identification Toolbox™ proporciona herramientas para analizar datos y para estimar y evaluar modelos tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Para usar herramientas y métodos que no están en el mismo dominio que sus datos medidos, puede transformar sus datos entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia.

El objeto iddata almacena datos en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia.

- Los datos en el dominio del tiempo consisten en una o más variables de entrada u(t) y una o más variables de salida y(t), muestreadas en función del tiempo.

- Los datos en el dominio de la frecuencia consisten en señales de dominio del tiempo de entrada y salida transformadas o en la respuesta de frecuencia del sistema muestreada como una función de la frecuencia variable independiente. (MATLAB, 2018)

5. Elaboración De Los Objetos De Aprendizaje

5.1 Nuevas Diapositivas De Clase

Uno de los mecanismos más utilizados en la actualidad para la divulgación de información son las presentaciones presenciales y/o virtuales, este tipo de formato conferencia se apoya en contenido audiovisual que resume y destaca los puntos más importantes además de materializar la evidencia para facilitar la comprensión de los espectadores. Si bien existen muchos recursos audiovisuales disponibles hoy en día, las presentaciones con diapositivas siguen siendo el más común de estos, debido a su facilidad de manejo, compatibilidad de archivos, almacenamiento consumido, y por su puesto su capacidad de funcionar sin una conexión de red, entre otras razones destacables de este tipo de formatos. Siendo un mecanismo muy popular entre los docentes el uso de las diapositivas como desarrollo de objeto de aprendizaje es algo de vital importancia, ya que si bien no es algo nuevo en el curso de Sistemas Dinámicos, es la herramienta con la cual el docente se encuentra más familiarizado y maneja casi a la perfección.

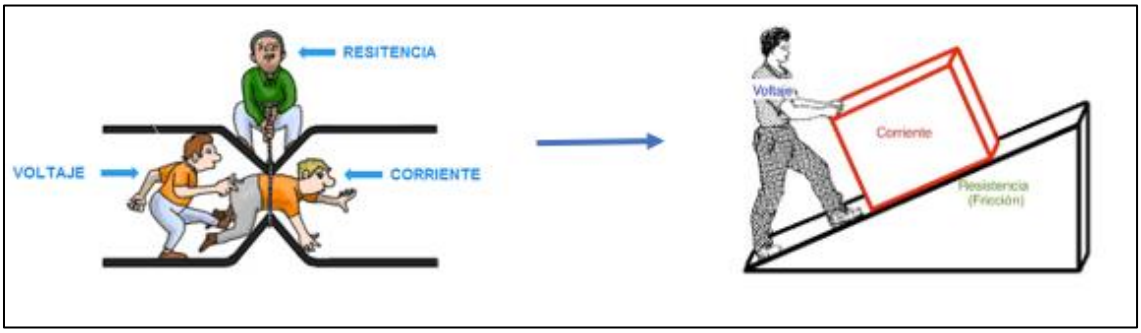
Por esta razón se optó por realizar un mantenimiento respectivo a cada una de las presentaciones de PowerPoint que el docente usa de apoyo, además del desarrollo de unas totalmente nuevas con la inclusión de nueva información actualizada que complementa el curso, ya que, si bien uno de los objetivos específicos del proyecto es el de crear diverso contenido multimedia que funcione de apoyo y facilitar la comprensión de la asignatura, el facilitar la comunicación entre el docente y el estudiante también hace parte de las metas y es igual o más importante. De esta manera el profesor no combatirá con un cambio drástico en la metodología de la clase y tendrá control total de su asignatura. El procedimiento que se acató para realizar este objeto de aprendizaje fue el siguiente:

1. Se toma de la base de datos del docente con su debida autorización todas las presentaciones relacionadas al curso de Sistemas Dinámicos. Posteriormente, se procede a realizar una filtración guiada por el docente y el descarte de presentaciones que no serían requeridas para la reestructuración del curso, además de la agrupación de la información en base a los módulos de la asignatura.

2. Teniendo como base la información conseguida en el paso anterior, se realiza una investigación profunda en bancos de datos virtuales, libros y artículos científicos y teniendo en cuenta la longevidad del curso y las metas y competencias de este se complementa la información de las diapositivas anteriores y se desarrollan nuevos Slideshows.

3. Dentro de las modificaciones que se hicieron a las diapositivas del banco de datos, estaba el reemplazar imágenes por unas más apropiadas para cada tema, ya que algunas de las piezas gráficas no eran acordes al carácter científico de la asignatura y podían desviar la atención de los estudiantes.

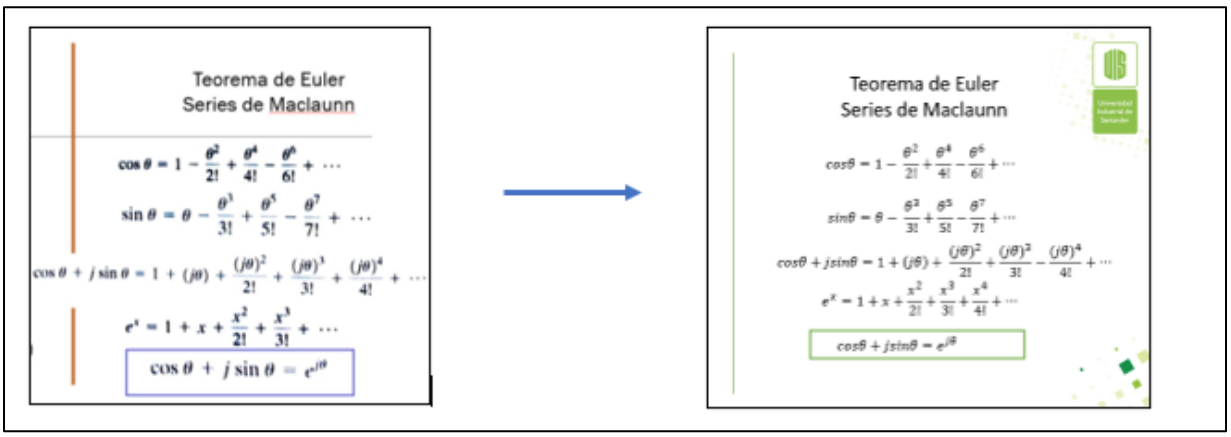
Figura 8 *Sustitución de Figuras en Diapositivas de Clase.*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

4. Asimismo, se reescribieron todas las ecuaciones que estaban presentes en las diapositivas, ya que anteriormente se encontraban en formato de imagen y a causa de esto no eran editables, adicionalmente se dificultaba su lectura a causa de las bajas resoluciones. Finalmente, se optó por manejar la función ecuación de las herramientas ofimáticas de Microsoft para que así el docente pueda editarlas en caso de querer realizar algún ejercicio en clase o si lo desea poder cambiar el tamaño de esta sin alterar las resoluciones y la calidad de visualización.

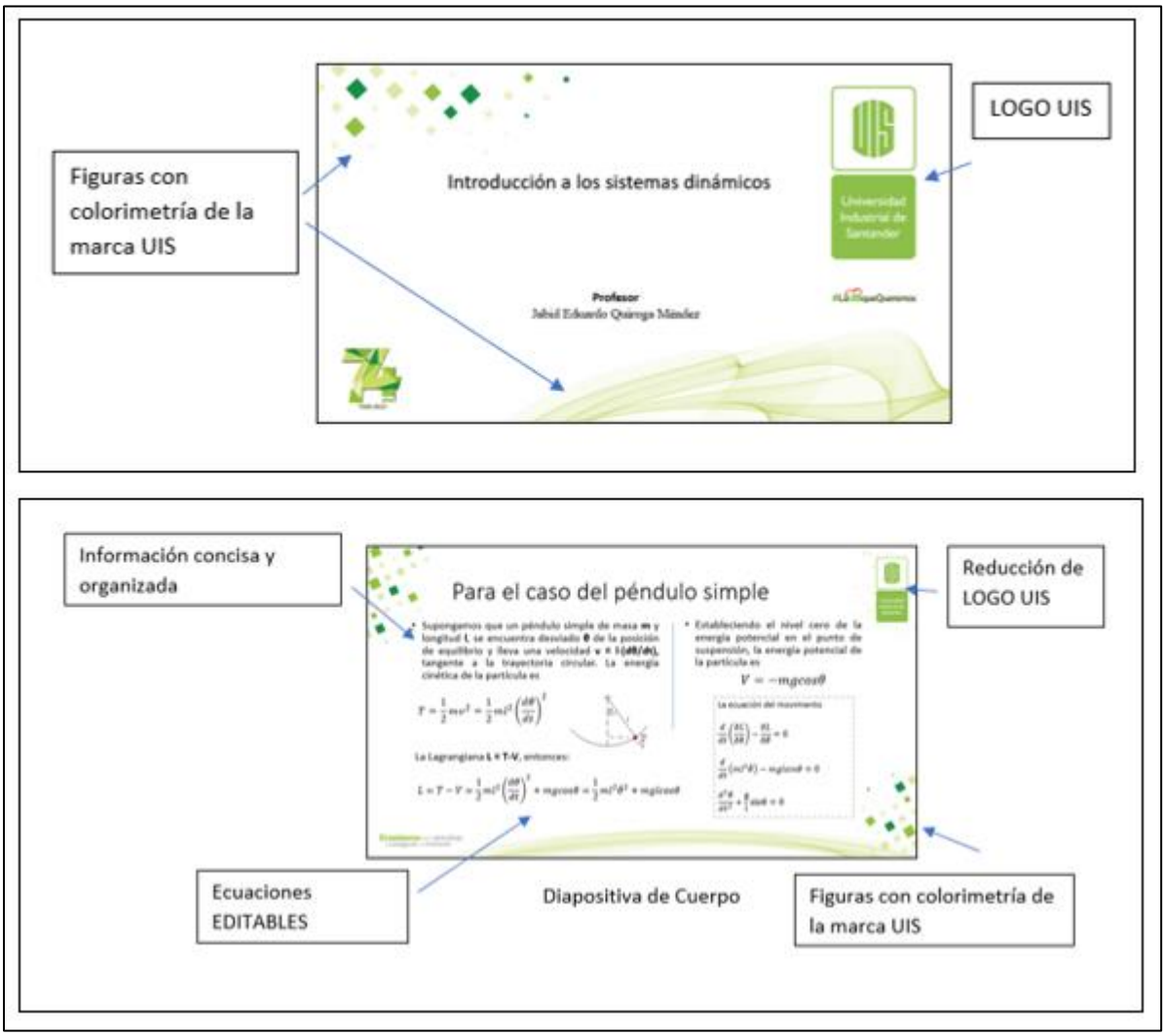
Figura 9 *Sustitución de Ecuaciones en Diapositivas de Clase*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5. A continuación, se hace un rediseño estético de las diapositivas para conservar una homogeneidad a lo largo de toda la asignatura y facilite al estudiante la relación de los temas y la asimilación de estos. Para los colores y formas de cada diapositiva, se tuvo en cuenta el formato designado por la Universidad Industrial de Santander, con la finalidad de otorgarles un sello de identidad cada diapositiva cuenta con los emblemas, colores y logos de la universidad.

Figura 10 *Nuevas Diapositivas de Clase*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

6. Para finalizar, se renombraron todas las diapositivas según la metodología del libro de Sistemas Dinámicos de Katsuhiko Ogata que es el libro guía a lo largo de toda la asignatura. Las presentaciones nuevas de temáticas que son adicionales al libro fueron integradas bajo instrucciones específicas del docente.

7. Luego de desarrollar toda esta renovación, se realizó una retroalimentación general con el docente con el fin de que él autorizara todas las modificaciones y si tenía algún tipo de recomendación o aporte, implementarlo o tenerlo en cuenta. Finalmente, se acataron todas las recomendaciones dadas por el docente y se dio por concluido el tema del reacondicionamiento de las diapositivas.

5.2 Estructura Modular De La Asignatura

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos del proyecto radica en la importancia de la comunicación, se busca que el desarrollo del curso sea de manera efectiva y eficiente, de esta manera se busca que agrupando de manera coherente la información y suministrándola en dosis ligeras pero concisas de contenido se pueda evitar la saturación de los canales de información y los estudiantes logren retener mejor los datos. De esta manera se optó por un diseño modular que permita la optimización del tiempo de aprendizaje, la pedagogía modular es una propuesta teórico-metodológica que concibe al proceso de enseñanza como un procedimiento activo que brinda al alumno una mayor participación y lo hace responsable directo de su aprendizaje.

Según la UNESCO, 2017: La modularización de la formación no constituye un nuevo medio pedagógico; es sencillamente una organización didáctica de los contenidos de la formación, que apunta a distribuir los elementos de conocimientos, teóricos y prácticos, en unidades simples y autosuficientes. Es un tipo de organización práctica de los contenidos de formación. Con base en esto se determinó dividir la asignatura por medio de módulos, los cuales serán equivalentes a la cantidad de cortes que poseía la asignatura anteriormente. Los nuevos módulos contarán con la información requerida para cada sección, actividades teóricas pedagógicas, y talleres prácticos evaluativos. El sistema fue dividido de la siguiente forma:

5.2.1 Módulo 1

Introducción a los Sistemas Dinámicos, Modelamiento Matemático de Sistemas Dinámicos, Anatomía de Sistemas Dinámicos, Números Complejos, Transformada de Laplace y Linealización.

5.2.2 Módulo 2

Sistemas Mecánicos, Ecuaciones de Lagrange y Función de Transferencia.

5.2.3 Módulo 3

Espacio de Estados, Sistemas Eléctricos y Electromecánicos, Sistemas Análogos, Sistemas de Fluidos y Sistemas Térmicos.

5.2.4 Módulo 4

Análisis de Respuesta en el Dominio del Tiempo y Análisis de Respuesta en el Dominio de la Frecuencia.

Con esto se concluye la división por módulos de la asignatura.

5.3 Quices Cortos de Afianzamiento

Las bases de la asignatura de Sistemas Dinámicos como cualquier otra residen en los conceptos teóricos, ya que por medio de estos el estudiante podrá entender y comprender mucho más fácil no solo lo que se está explicando, si no que adicionalmente inculcará un pensamiento científico y le permitirá aplicar los conocimientos en otra área de la asignatura que no se relacione normalmente. Apoyándonos en el **artículo 2.5.3.2.3.2.5** del decreto 1330 del ministerio de educación de 2019 que habla de la organización de actividades académicas y proceso formativos, la alternativa de los Quices cortos de afianzamiento viene de la metodología de clase de aula invertida en donde los estudiantes estudian y se preparan en casa y durante la clase se pretende resumir el contenido, resolver dudas y desarrollar actividades evaluativas más complejas.

Se pensó en una forma de buscar que el estudiante se apropie un poco más de los temas abarcados en clase e ilustrados en las diapositivas. Luego de varias opciones se concluyó que la creación y aplicación de unos Quices cortos, pero con preguntas muy puntuales después de cada tema. Esto será de gran utilidad ya que el estudiante prestará más atención a la información suministrada por el docente, si bien estas micro pruebas no representan un valor calificativo de la asignatura, su presentación será retribuida por el docente con puntos adicionales, una acumulativa que pueda ser reemplazada por otra nota, etc. (las condiciones de este reconocimiento por el docente pueden variar cada semestre, por lo tanto, están sujetas a cambios). Cada quiz es desarrollado con base en la temática dada en cada presentación y deberá ser resuelto inmediatamente después de cada una, de esta manera podrá afianzar la información suministrada anteriormente.

Para el desarrollo de estos Quices se realizó un banco de preguntas independiente para cada temática de los módulos de la asignatura. Tomando la información más importante, se seleccionaron mínimo dos (2) preguntas, de esta manera es posible obtener una medida aproximada del alcance del estudio en casa, lo que significa que el docente puede analizar con base en los resultados de las pruebas si los estudiantes están comprendiendo correctamente la asignatura, adicionalmente como estos micro exámenes son optativos también se puede llevar un control de seguimiento y dependiendo de lo lejos que lleguen los estudiantes en las presentaciones, el docente puede tomar diferentes medidas para potenciar y determinar así la intensidad de la clase presencial.

Inicialmente se tuvo en cuenta mantener todas las preguntas con la modalidad de opción múltiple tal cual como se encontraban en la base de datos, pero teniendo en cuenta que existen diversos tipos de preguntas y cada uno de esos tipos de preguntas tiene una función diferente y representa un reto distinto en cada estudiante, se decidió finalmente variar entre tres tipos diferentes:

- Opción múltiple
- Falso y verdadero
- Completar con palabras faltantes

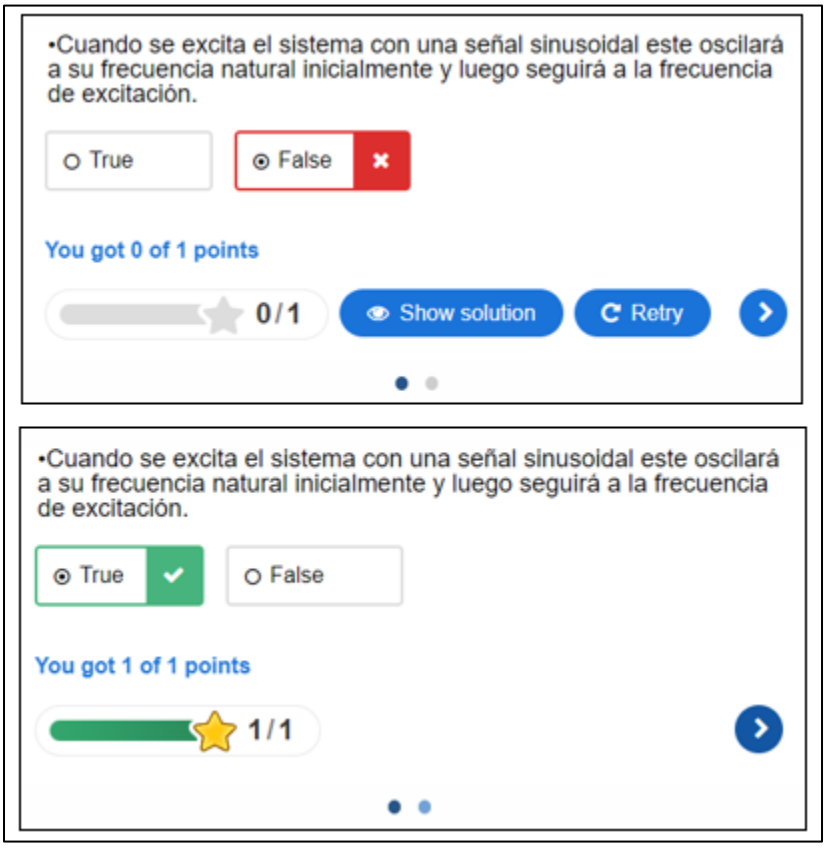
5.3.1 Tipo De Pregunta: Falso/Verdadero

Este tipo de preguntas dentro de los escogidos es el que puede llegar a tener menor complejidad, y las posibilidades de acertar a la pregunta son las mismas a las de errarla, ya que el alumno solo puede seleccionar entre dos opciones: Verdadero o Falso.

Estas preguntas serán retroalimentadas inmediatamente después de ser evaluadas. Para desarrollar estas preguntas de manera exitosa se tomaron en cuenta algunas reglas en su construcción:

- Deben ser oraciones cortas y simples.
- Evaluar solamente una idea por preguntar.
- Deben ser oraciones de manera definitiva ciertas o definitivamente falsas. (de esta manera se reduce el riesgo de confusión)

Figura 11 *Diseño de Pregunta: Falso/Verdadero*



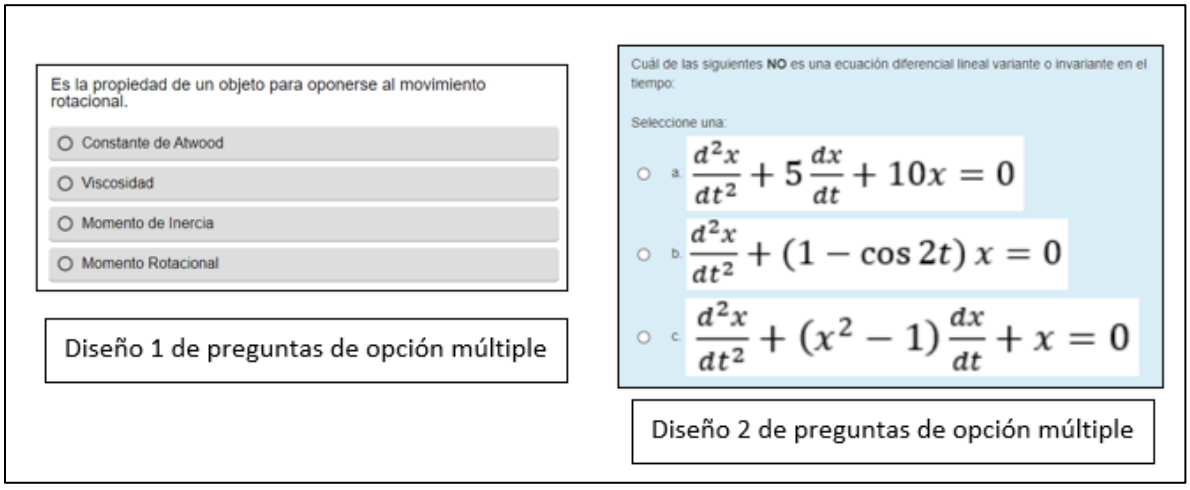
Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5.3.2 Tipo de Pregunta: Opción Múltiple

Este tipo de pregunta tiene un nivel de complejidad mayor que la opción anterior, sin embargo, se puede considerar una pregunta de nivel medio y las posibilidades de acertar la respuesta correcta dependen de la cantidad de opciones de la pregunta generalmente será entre un 25% cuando existen cuatro opciones y un 33.33% cuando hay tres. Cabe decir que para este tipo de pregunta solo se tuvo en cuenta la solución única, y tienen retroalimentación inmediata una vez se resuelva. Para desarrollar estas preguntas de manera exitosa se tomaron en cuenta algunas reglas en su construcción:

- Proponer una opción obvia para el descarte.
- Repetir palabras en las opciones que pueden estar en el enunciado.
- NO utilizar proposiciones negativas o dobles negativas
- Use una estructura sencilla de la oración y use redacción precisa

Figura 12 *Diseño de Pregunta: Opción Múltiple*



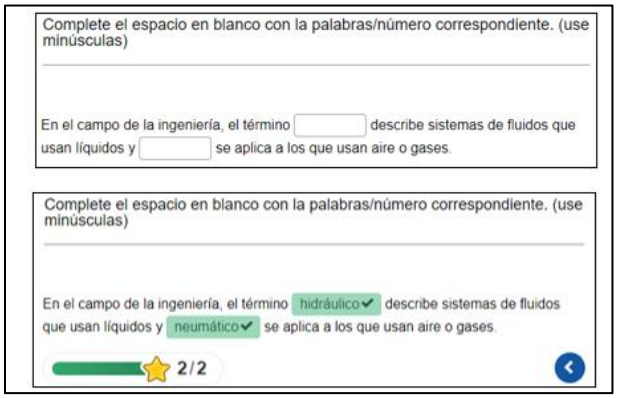
Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5.3.3 Tipo de Pregunta: Completar con Palabras Faltantes

Estas preguntas tienen el nivel de dificultad más alto y son muy sensibles al error. La respuesta debe ser digitada manualmente en minúscula y se debe considerar la ortografía, en algunos casos una respuesta numérica también será admitida. Esta pregunta permitirá al estudiante reintentar la solución infinitas veces y adicionalmente tiene una opción para visualizar la respuesta correcta cuando sea deseado. Es necesario recordar que estas preguntas no son de carácter evaluativo y que el propósito de estas es ayudar al estudiante a consolidar información clave. Para desarrollar estas preguntas de manera exitosa se tomaron en cuenta algunas reglas en su construcción:

- Use una estructura sencilla de la oración y use redacción precisa.
- Evitar preguntas capciosas.
- Evitar tener respuestas muy largas.
- Permitir registro de números y palabras.
- Cada pregunta tiene que estar acompañada de una instrucción clara.

Figura 13 *Diseño de Pregunta: Complete el espacio*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5.4 Actividades Interactivas Acumulativas

Teniendo en cuenta la longevidad de los temas y la metodología de la asignatura, se decidió realizar una serie de actividades que tengan como propósito reforzar los conceptos teóricos de una agrupación de temas más amplio que la que se puede ver en el inciso anterior de quices cortos. Para esto se generó un nuevo banco de preguntas recopilando información de las diapositivas suministradas con anterioridad a los estudiantes, las cuales son el apoyo visual de la asignatura, adicionalmente tienen completo acceso a ellas y los permisos necesarios para poder utilizarlas sin una conexión a internet.

La división de la asignatura en módulos fue el punto de partida para la recolección de data para el desarrollo de cada actividad, de esta manera cada prueba significa el fin de su modulo correspondiente. Al igual que los quices la presentación de estas tareas será optativa y el docente podrá decidir la manera de incentivar al estudiante con puntos extras u otras formas de bonificación.

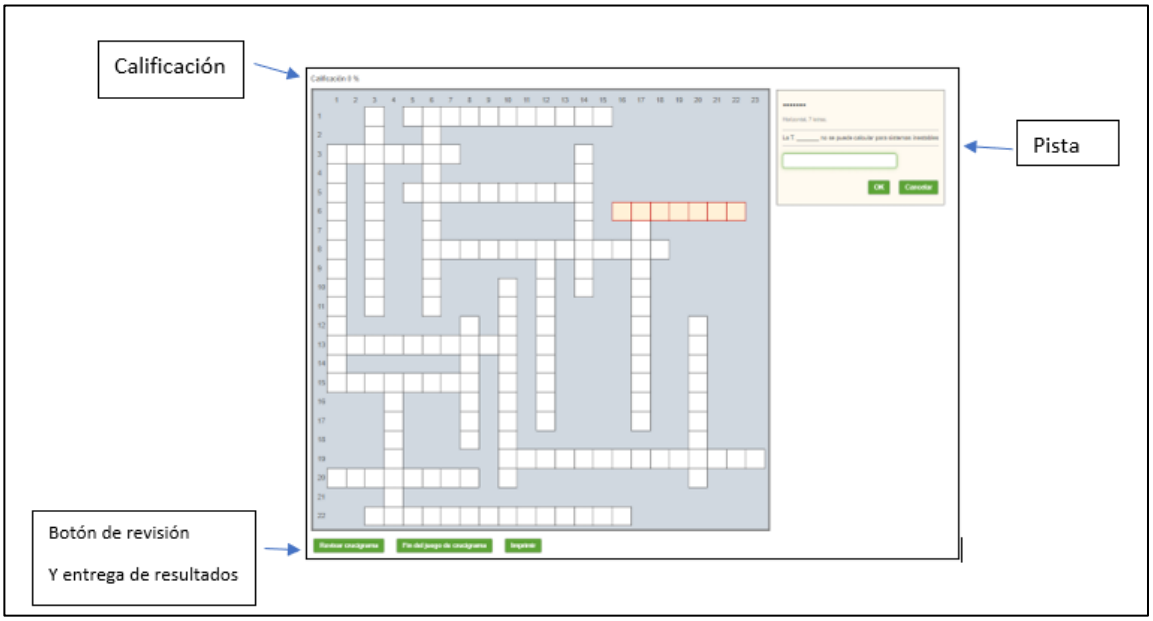
Adicionalmente se pretendía modificar la dinámica tradicional de hacer simples cuestionarios y se analizó la alternativa de crear un sistema basado en juegos clásicos de fácil comprensión que además de fortalecer y consolidar los conocimientos adquiridos en cada módulo, sirviera también como una fuente de entretenimiento interactivo y no una tarea tediosa más. Teniendo en cuenta esto, finalmente se decidió crear las siguientes actividades para los tres primeros módulos:

- Crucigrama
- Millonario
- Serpientes y escaleras

5.4.1 Crucigrama

Para el módulo 1 se seleccionó la actividad “crucigrama”. Para desarrollar esta actividad fue necesario realizar un banco de preguntas relacionadas a los temas vistos durante este módulo. Finalmente, a partir de este banco de 21 preguntas el sistema genera siempre aleatoriamente un crucigrama diferente por cada intento de solución, esto quiere decir que no solo cada estudiante tendrá un ejercicio diferente, sino que además si el mismo estudiante quiere resolverlo más de una vez, obtendrá siempre un esquema diferente.

Figura 14. *Diseño de Actividad: Crucigrama*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

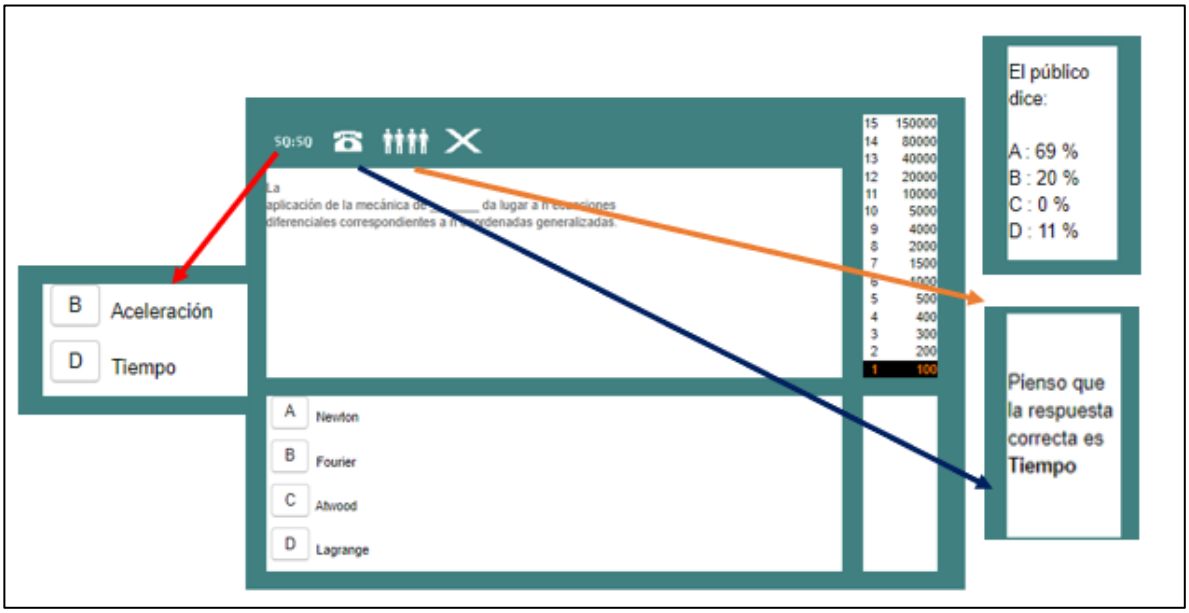
Un crucigrama consiste en un rompecabezas que consiste en una cuadrícula de cuadrados y espacios en blanco en los que las palabras que se cruzan vertical y horizontalmente se escriben de acuerdo con las pistas.

El estudiante al igual que en las otras actividades podrá obtener una revisión inmediata de sus respuestas y una calificación dependiendo del progreso en el juego.

5.4.2 Millonario

Con respecto al módulo 2, la actividad que se escogió se llama “millonario” la cual consiste en una adaptación del popular programa “quién quiere ser millonario”. Al igual que en el módulo anterior, se realizó un banco de preguntas asociadas a esta sección. En la figura se puede observar una demostración de la actividad evaluativa.

Figura 15 *Diseño Actividad: Millonario*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

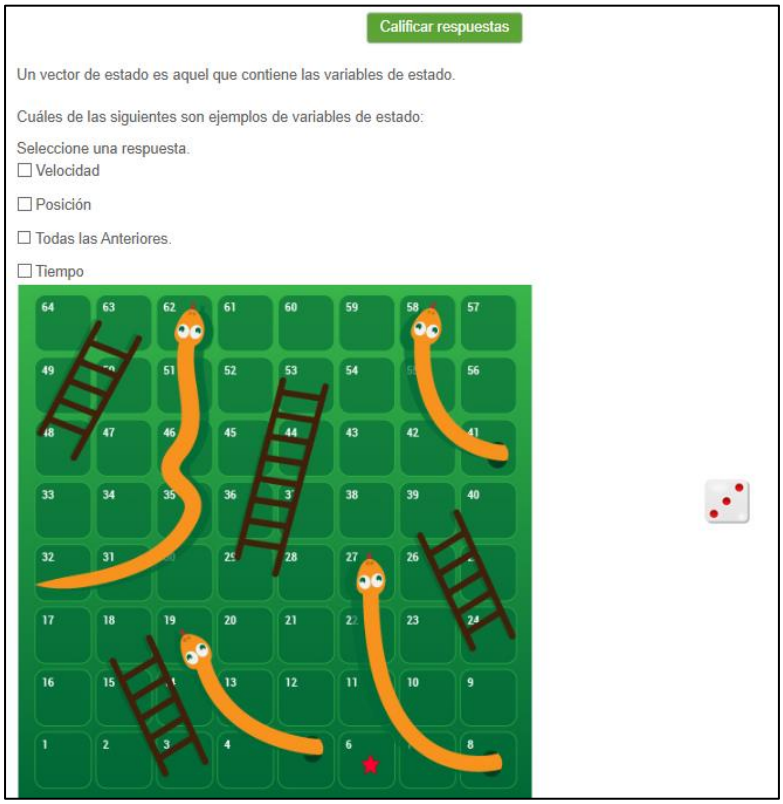
La actividad consiste en que el jugador "gane" una determinada cantidad de dinero después de resolver sin equivocarse quince preguntas completamente aleatorias seguidas, adicionalmente el participante cuenta con tres comodines que pueden o no arrojar la respuesta correcta como se puede ver en la ilustración anterior, dentro de los comodines se encuentran: llamada al público, consiste en solicitar la ayuda de un público virtual simulado que "vota" por la respuesta que consideren correcta, llamada a un amigo, esta opción brinda una solución directa que puede o no ser errónea, y finalmente la opción de 50:50, como su nombre indica, se descartan dos opciones dejando al participante con dos opciones para escoger una respuesta.

5.4.3 Serpientes y Escaleras

Con respecto al módulo 3, la actividad que compete se llama "serpientes y escaleras" y fue requerido un banco de preguntas al igual que en los módulos anteriores. El juego consiste en

responder las preguntas que puede variar entre falso y verdadero, opción múltiple y completar con la palabra restante, si el participante contesta correctamente se moverá las casillas que el dado muestre, si falla, la estrella no avanzará y el dado deberá volver a ser tirado, es entonces cuando una nueva pregunta saldrá. El estudiante solo puede fallar 3 preguntas para poder completar el juego al 100%, adicionalmente dentro del tablero encontrara en algunos recuadros con atajos en forma de escalera que lo llevaran más cerca de la meta o serpientes que lo trasladaran hacia atrás y perderá parte de su progreso.

Figura 16 *Diseño Actividad: Escaleras y Serpientes*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5.4.4 Proyecto Audiovisual

Al ser este el módulo final, se seleccionó una actividad un poco diferente con el fin de fortalecer las capacidades del estudiante obtenidas al final del curso. En esta sección la evaluación consiste en la realización de un video explicativo en el cual el estudiante sustente como realizó el taller evaluativo de este módulo. De esta manera se busca potenciar las habilidades expositoras de los estudiantes y desarrollar seguridad al momento de tocar temas que pueden llegar a tener un lenguaje más técnico y científico. El video no debe durar más de 10 minutos y debe ser cargado en la plataforma de YouTube, el enlace debe ser compartido con el docente a través del Moodle. Cabe recordar que estas actividades son optativas y no tienen una calificación asignada dentro del programa de la asignatura, sin embargo, si pueden llegar a ser retribuidas o calificadas como actividades de mejoramiento, esto depende exclusivamente del docente a cargo.

5.5 Banco de Lecturas

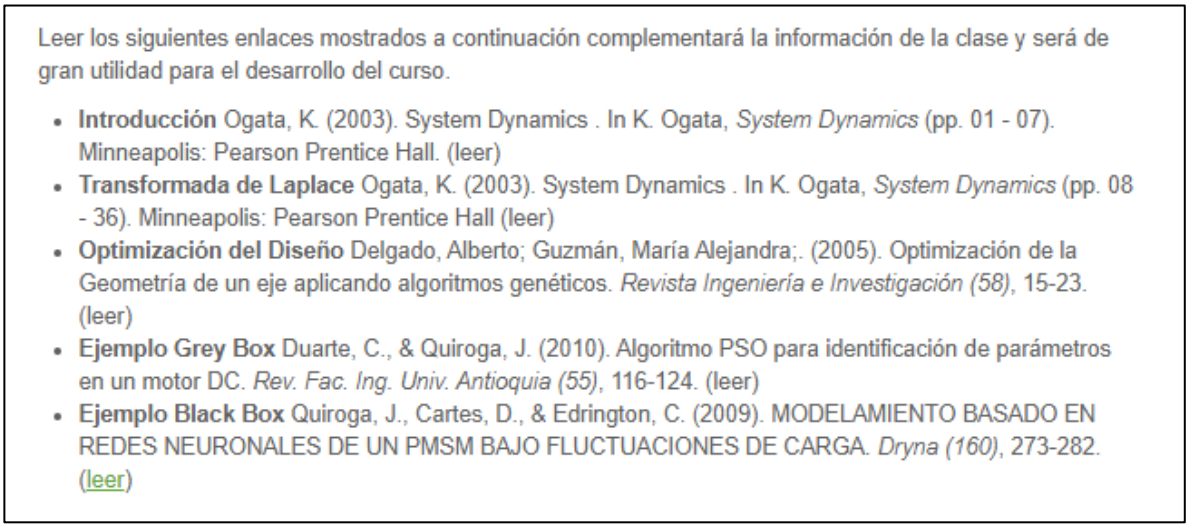
Dentro de los objetos de aprendizaje también se comprende el desarrollo de bases de datos como los pueden ser los bancos de lecturas. Para el desarrollo de estos bancos se tomó como principal fuente de información todas las referencias que fueron tomadas para el desarrollo de las diapositivas de clase, dentro de esto se puede encontrar libros, artículos científicos, revistas de investigación, entre otros.

En el caso de los libros se decidió anexar específicamente cada capítulo independiente de acuerdo con el tema que se está analizando del libro de Sistemas Dinámicos de Katsuhiko Ogata, de esta manera el estudiante tiene acceso a la información de manera precisa y dirigida.

De igual manera cada lectura está completamente referenciada por medio de las normas APA y son completamente descargables sin costo alguno, de tal manera que el estudiante no

depende de tener una conexión a internet cada vez que quiera acceder a estas, adicionalmente por su tamaño se hace posible descargar en dispositivos móviles de baja gama, con esto se pretende aumentar el alcance de la información y que cada vez más estudiantes puedan acceder al contenido sin depender completamente de los recursos con los que cuenta.

Figura 17 *Diseño de Bancos de Lecturas*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

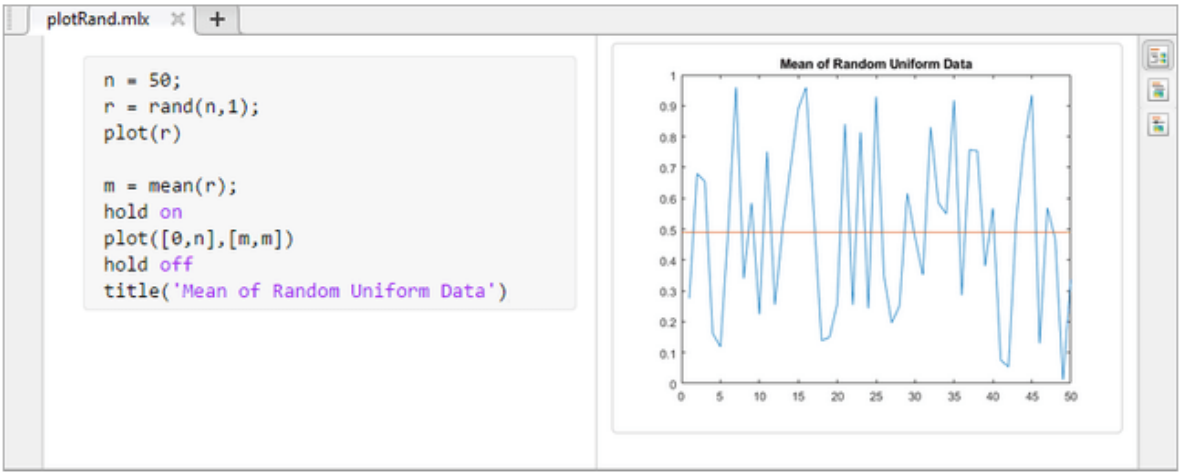
Como se puede ver en la imagen, al final de cada referencia se encuentra habilitado un enlace directo para la descarga inmediata de la lectura deseada. También en caso de ser un libro, se puede ver el rango de páginas que se comprende.

5.6 Banco de Archivos de Soporte

De igual manera que el banco de lecturas, se desarrolló una base de datos para comprender todos los archivos que pueden ser de gran utilidad para comprender exitosamente la asignatura, en este banco se pueden encontrar archivos con contenido multimedia, ejercicios resueltos de ejemplo en MATLAB, SIMSCAPE, SIMULINK, entre otros. Dentro del contenido multimedia que se puede encontrar, la gran mayoría se encuentra en español o con subtitulado y los ejercicios de ejemplo resueltos se encuentran el formato .slx y .mlx, este tipo de archivos Live Script desarrollado por MathWorks tiene una gran ventaja sobre otro tipo y es que brinda la posibilidad de resolver scripts en tiempo real simultaneo a la redacción del código. En los scripts en vivo,

puede escribir el código y ver la salida y las gráficas generadas junto con el código que las produjo, agregar texto con formato, imágenes, hipervínculos y ecuaciones para crear una narrativa interactiva que pueda compartir con otros. Es importante mencionar que todos estos códigos y ejercicios fueron desarrollados por nosotros, bajo la supervisión del docente.

Figura 18 *Ejemplo de visualización archivo .mlx*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5.7 Talleres Evaluativos

Los últimos objetos de aprendizaje desarrollados para el proyecto fueron de carácter evaluativo, por lo que tuvieron que ser desarrollados bajo la supervisión constante del docente para finalmente ser aprobados. Estos talleres prácticos se deben realizar en la plataforma de MATLAB y deben ser completados en grupos de máximo 3 personas, cada taller debe tener sus instrucciones claras y debe ser un reflejo de la información suministrada en cada módulo, adicionalmente dependiendo del taller puede ser necesario algún archivo de soporte particular que será adjuntado junto con las instrucciones.

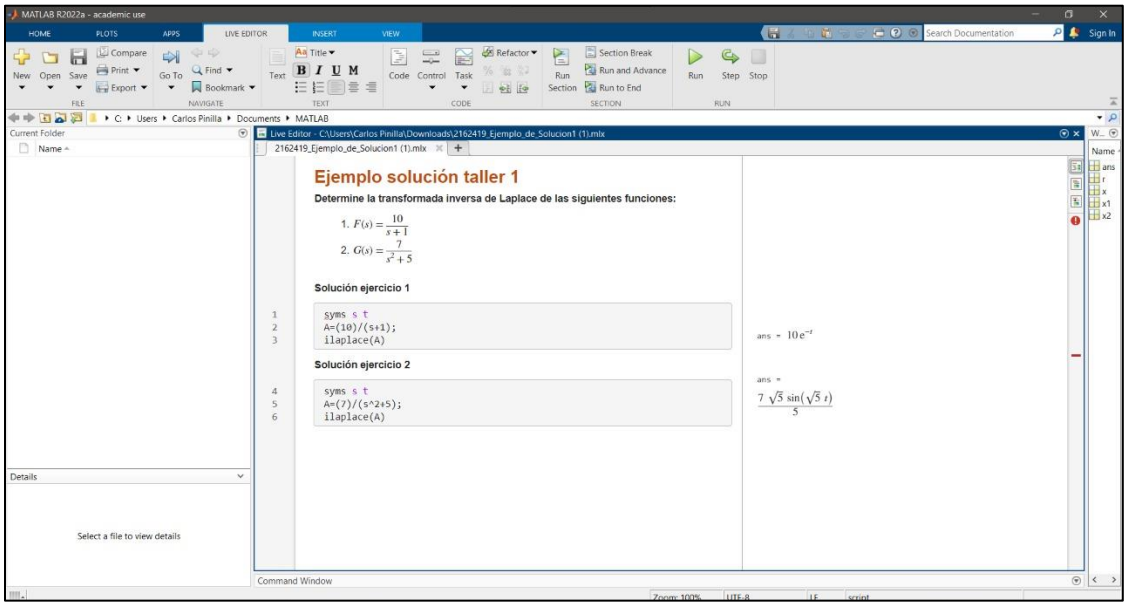
5.7.1 Taller 1: Transformadas Inversas de Laplace

El objetivo de este taller es empezar a relacionarse con la plataforma de programación MATLAB, y utilizarla para las operaciones y procesos matemáticos que hacen parte de este curso. En este caso, su utilizará este software con el fin de facilitar el cálculo de la transformada inversa de Laplace.

Se tienen las siguientes funciones las cuales el estudiante debe aplicarle el método de la transformada inversa de Laplace, por medio del software MATLAB, y así obtener su respuesta en el dominio del tiempo.

El archivo de soporte expuesto en la siguiente figura y cargado junto al enunciado es un ejemplo breve de cómo se debe solucionar y entregar el taller, esto funcionará de guía para el estudiante y facilitará al docente a la hora de calificar el código.

Figura 19 *Ejemplo de solución Taller 1 en MATLAB*



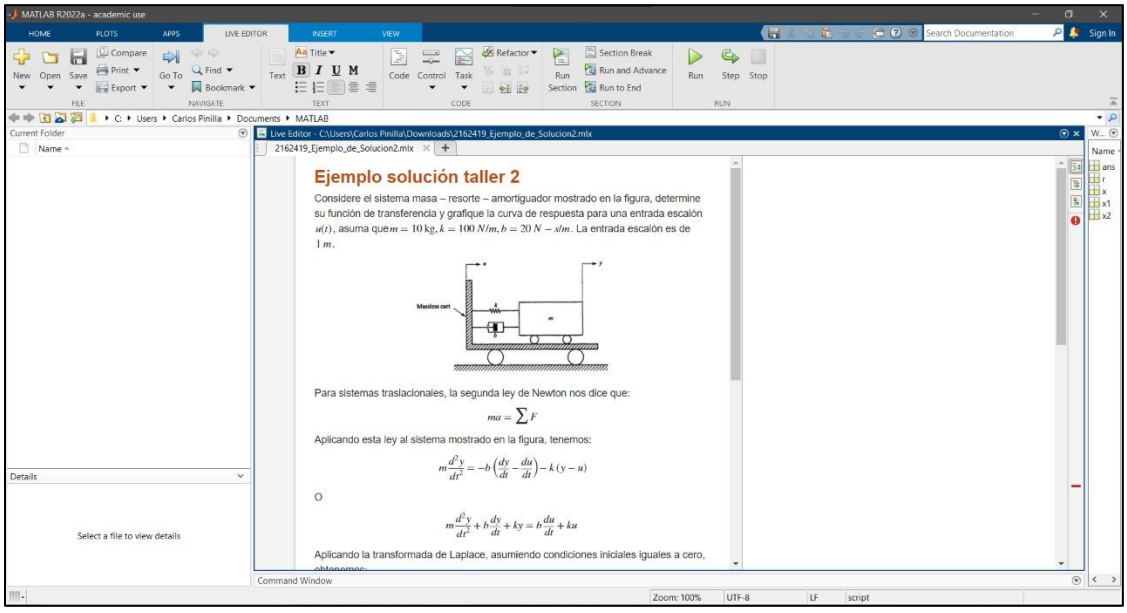
Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5.7.2 Taller 2: Transfer Function y Sistemas Mecánicos

El objetivo de este taller es utilizar el software MATLAB con el fin de determinar las funciones de transferencias y obtener sus respuestas con respecto a una entrada escalón. Este método es muy útil ya que este software facilita el análisis de los sistemas. El taller consiste en desarrollar dos ejercicios, En el primer ejercicio se tienen las funciones de transferencia, estas deben ser ingresadas a MATLAB y así obtener su respuesta a una entrada escalón. Con respecto al segundo ejercicio, debe ser obtenida la función de transferencia $X(s)$ del sistema, y posteriormente graficar su respuesta para una entrada escalón.

El archivo de soporte expuesto en la siguiente figura y cargado junto al enunciado es un ejemplo breve de cómo se debe solucionar y entregar el taller, esto funcionará de guía para el estudiante y facilitará al docente a la hora de calificar el código.

Figura 20 *Ejemplo de Solución Taller 2 en MATLAB*



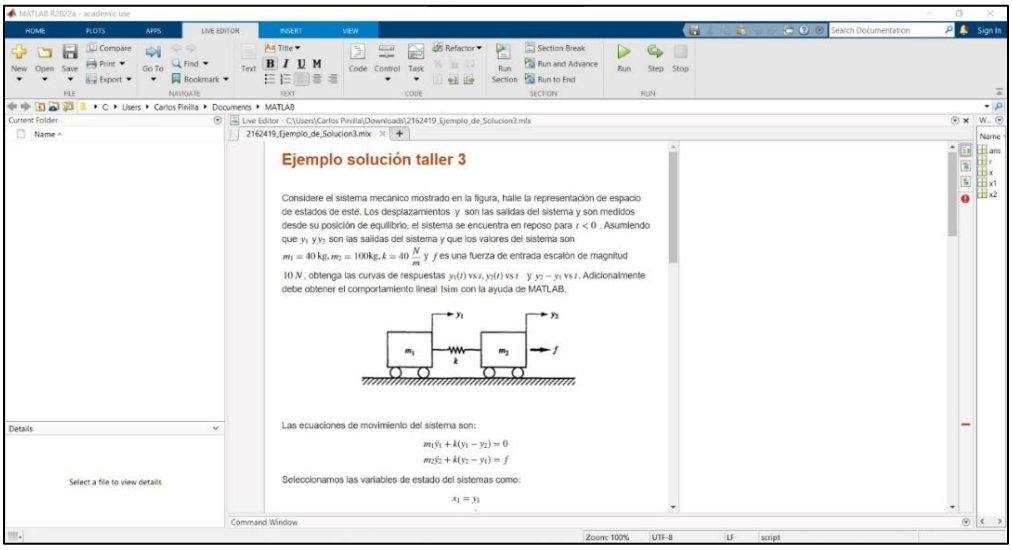
Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5.7.3 Taller 3: Espacio de Estados

El objetivo de este taller es utilizar el software MATLAB para aplicar el método de espacio de estados, aplicar una entrada escalón y así graficar las curvas de respuesta deseadas.

El archivo de soporte expuesto en la siguiente figura y cargado junto al enunciado es un ejemplo breve de cómo se debe solucionar y entregar el taller, esto funcionará de guía para el estudiante y facilitará al docente a la hora de calificar el código.

Figura 21. *Ejemplo de solución Taller 3 en MATLAB*



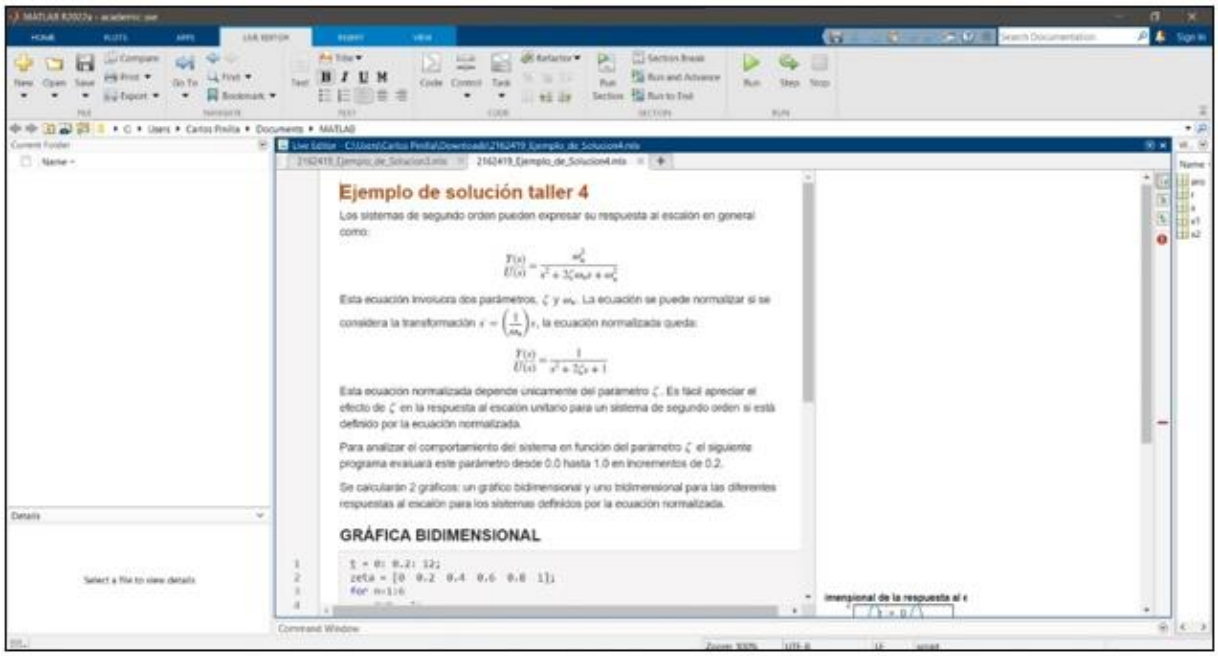
Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

5.7.4 Taller 4: Análisis De Dominio De La Frecuencia

El objetivo de este taller es utilizar el software MATLAB analizar los sistemas masa-resorte-amortiguador, ver que influencia tiene el coeficiente de amortiguamiento ξ en las vibraciones de un sistema mecánico.

El estudiante debe encontrar la representación analítica de este sistema, y por medio de dicha representación realizar la gráfica de transmisibilidad. Finalmente, con los valores obtenidos en la gráfica debe redactar un análisis de este sistema.

Figura 22 *Ejemplo de solución Taller 4 en MATLAB*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

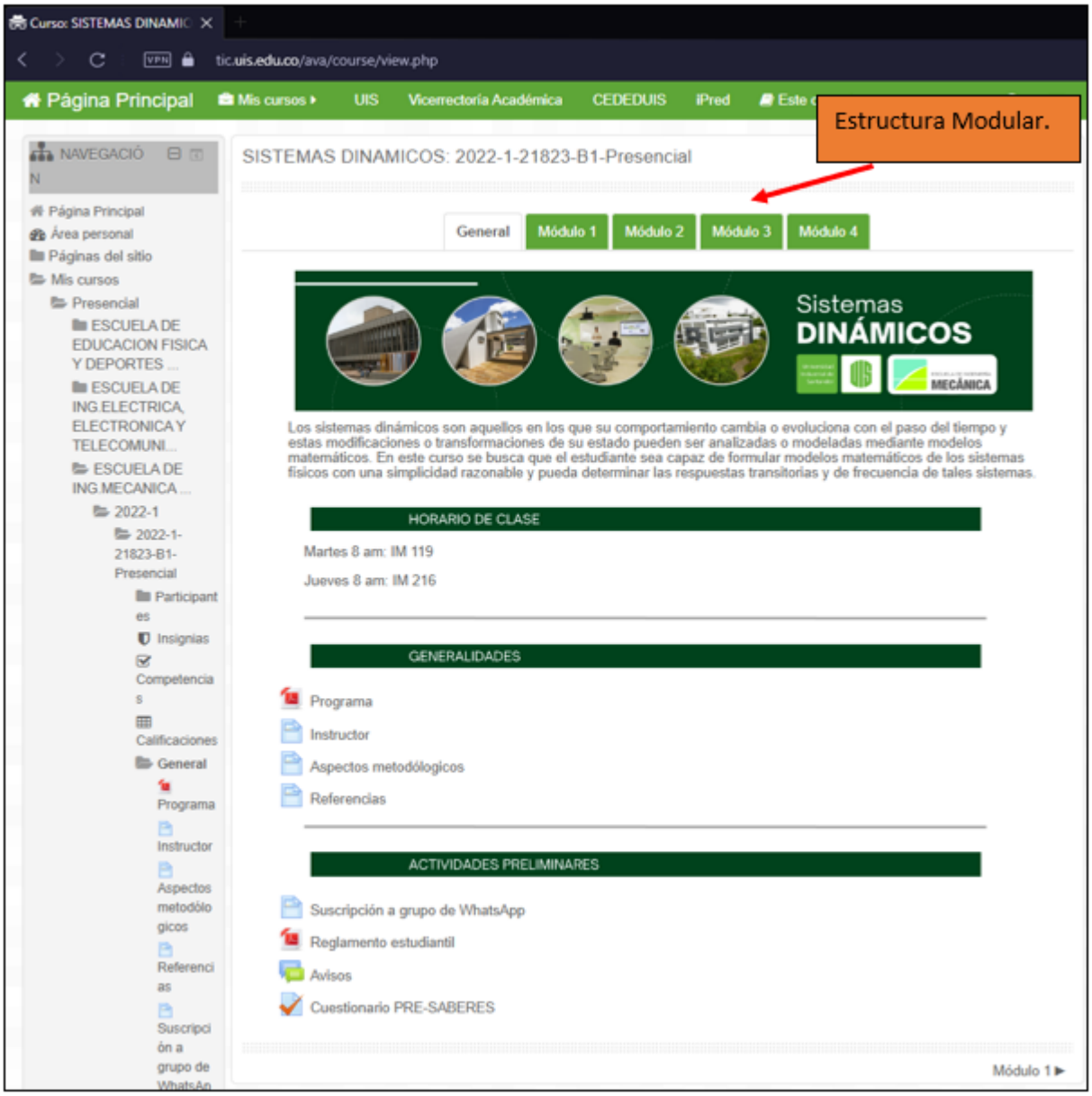
6. Implementación de los O.D.A en la Plataforma Moodle

Tras el desarrollo de todos los objetos de aprendizaje, solo restaba la creación del espacio virtual para compilar toda la información, para esto se hace uso de una de las herramientas más importantes que tiene la Universidad Industrial de Santander, la plataforma virtual de aprendizaje Moodle.

Moodle es una plataforma de aprendizaje diseñada para brindarles a los educadores, administradores y estudiantes un único sistema sólido, seguro e integrado para crear entornos de aprendizaje personalizados. Por medio de un diseño modular y una interfaz fácil de usar, ofrece un servicio completamente adaptable a las necesidades del usuario, además de ser perfectamente compatible con cualquier dispositivo móvil con una conexión a internet. Cabe mencionar que es una plataforma reconocida a nivel mundial ya que instituciones como Shell, London School of Economics y State University of New York, hacen uso de esta, esto significa que existe una gran comunidad que constantemente está desarrollando actualizaciones en busca de mejorar la experiencia de usuario y evoluciona para siempre estar a la par de las tecnologías emergentes.

Si bien el Moodle es una herramienta muy poderosa, requiere de un buen manejo para lograr cumplir los objetivos que se plantean con esta. La organización del contenido es fundamental para transmitir de manera efectiva la información a los estudiantes, teniendo en cuenta esto se decidió dividir cada módulo en una pestaña diferente de la plataforma, diseñando adicionalmente una pestaña nueva con las generalidades del curso, en la cual se incluye información básica del curso, los horarios de clase con sus respectivas aulas presenciales, información del docente, el programa de la asignatura, los aspectos metodológicos, referencias bibliográficas del curso, etc.

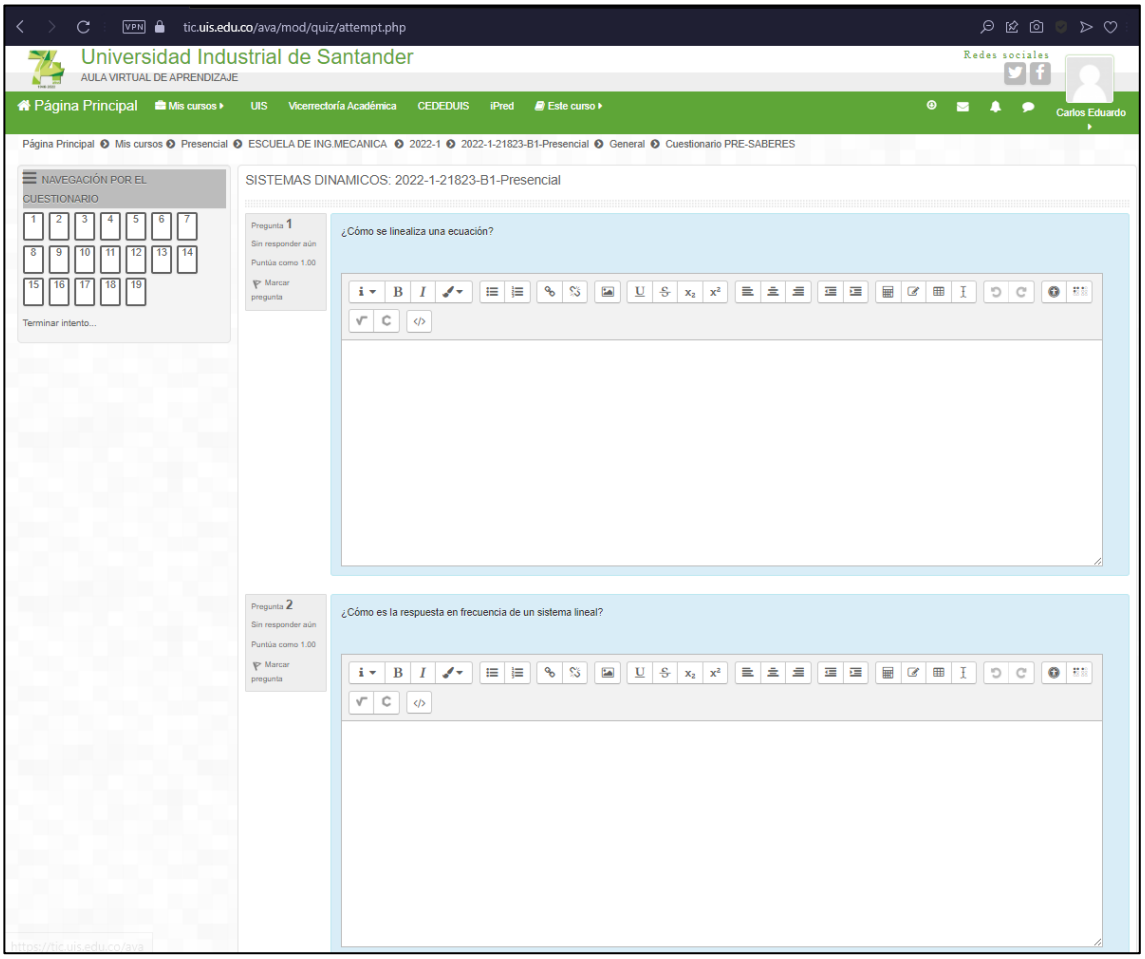
Figura 23 *Plataforma Moodle: Módulo General*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

En adición a la información del curso también se solicita a los estudiantes realizar algunas actividades preliminares. Dentro de las activades se puede encontrar un cuestionario de Pre-Saberes que será el punto de partida del curso para el docente.

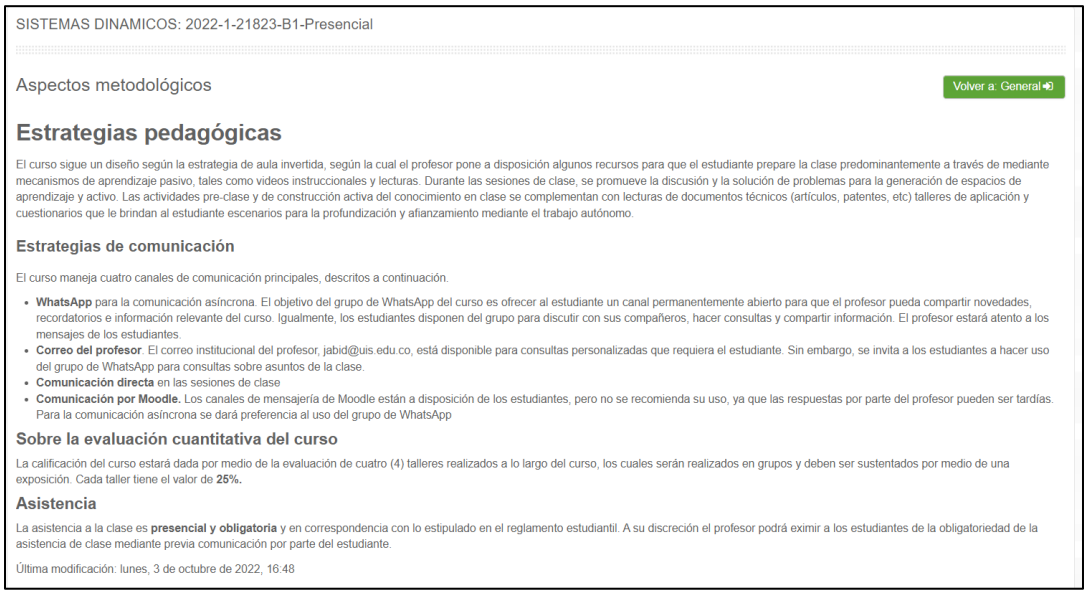
Figura 24 *Cuestionario Pre-Saberes*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

Este cuestionario cuenta con diecinueve preguntas abiertas que reflejan una aproximación de los conocimientos previos de los estudiantes, y funciona como herramienta para el docente para adaptar la dinámica del curso y ajustar el ritmo y contenido de manera más amigable con el estudiante para que de esta manera logren completar el curso de manera exitosa fortaleciendo sus debilidades.

Figura 25 *Diseño de Pestaña: Aspectos Metodológicos*



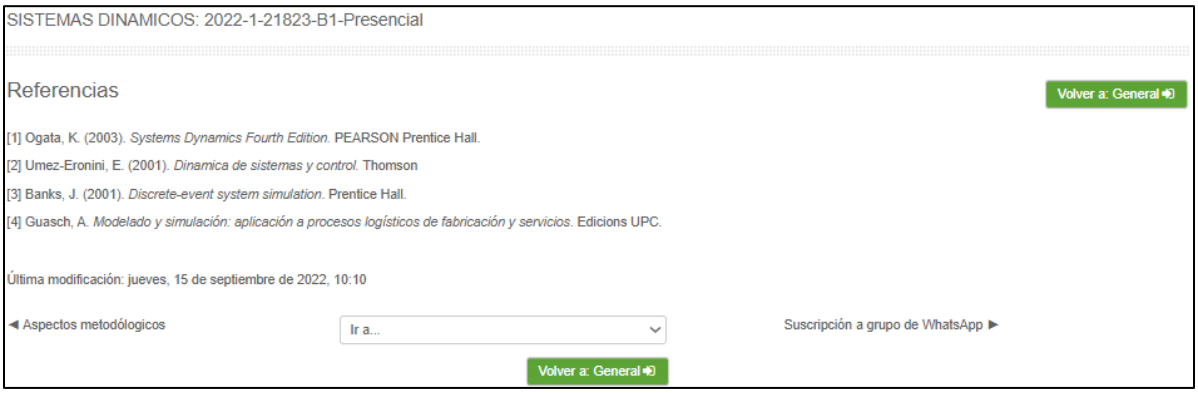
Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

Dentro de la pestaña de aspectos metodológicos se puede encontrar un breve plan de evaluación para los estudiantes y los canales de comunicación disponible para la asignatura. Las instrucciones para el ingreso al chat grupal de WhatsApp se pueden encontrar en la pestaña Suscripción a grupo de WhatsApp en la sección de actividades preliminares.

Figura 26 *Diseño de Pestaña: Suscripción a WhatsApp*

Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

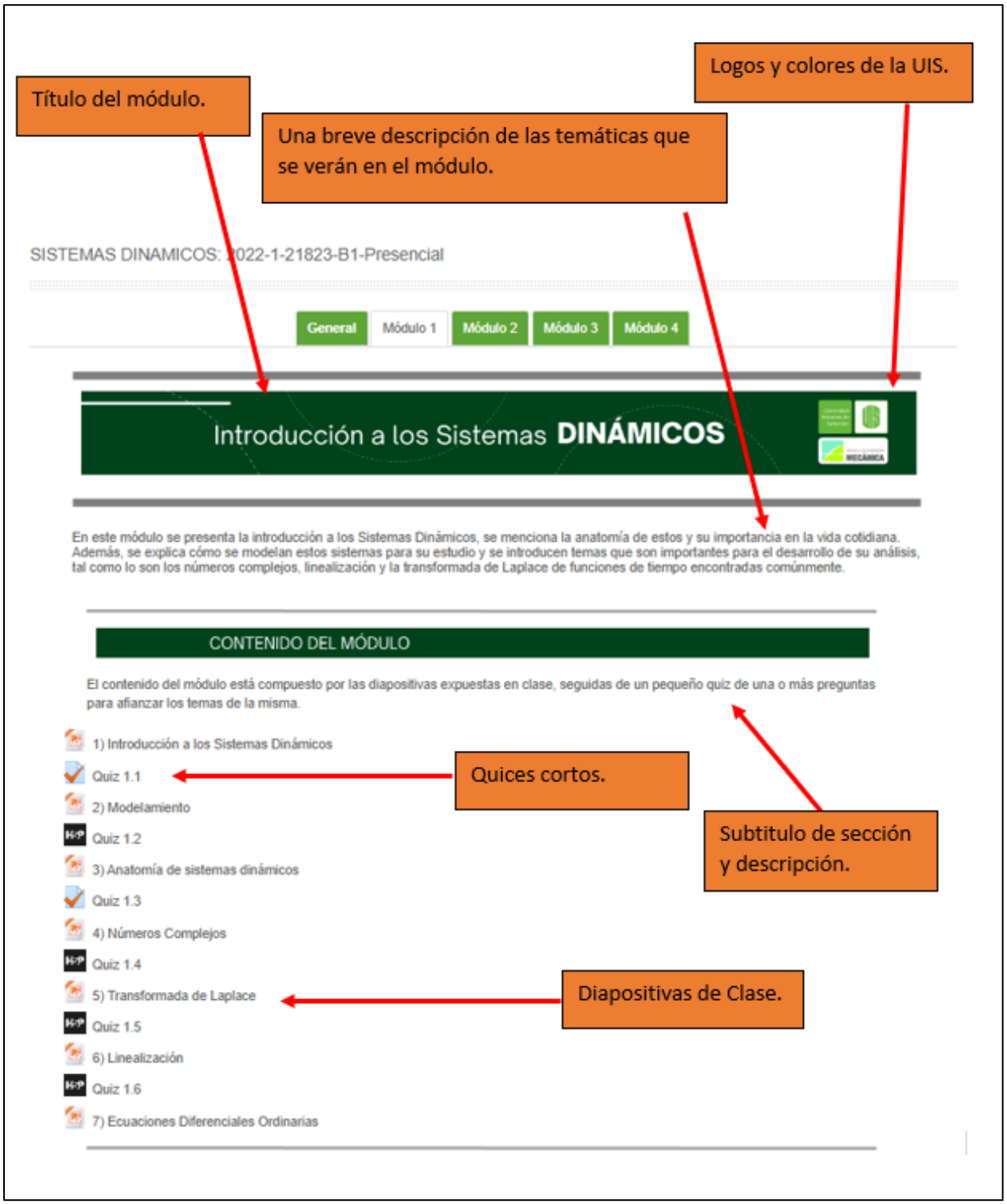
Figura 27 *Diseño de Pestaña: Referencias del Curso*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

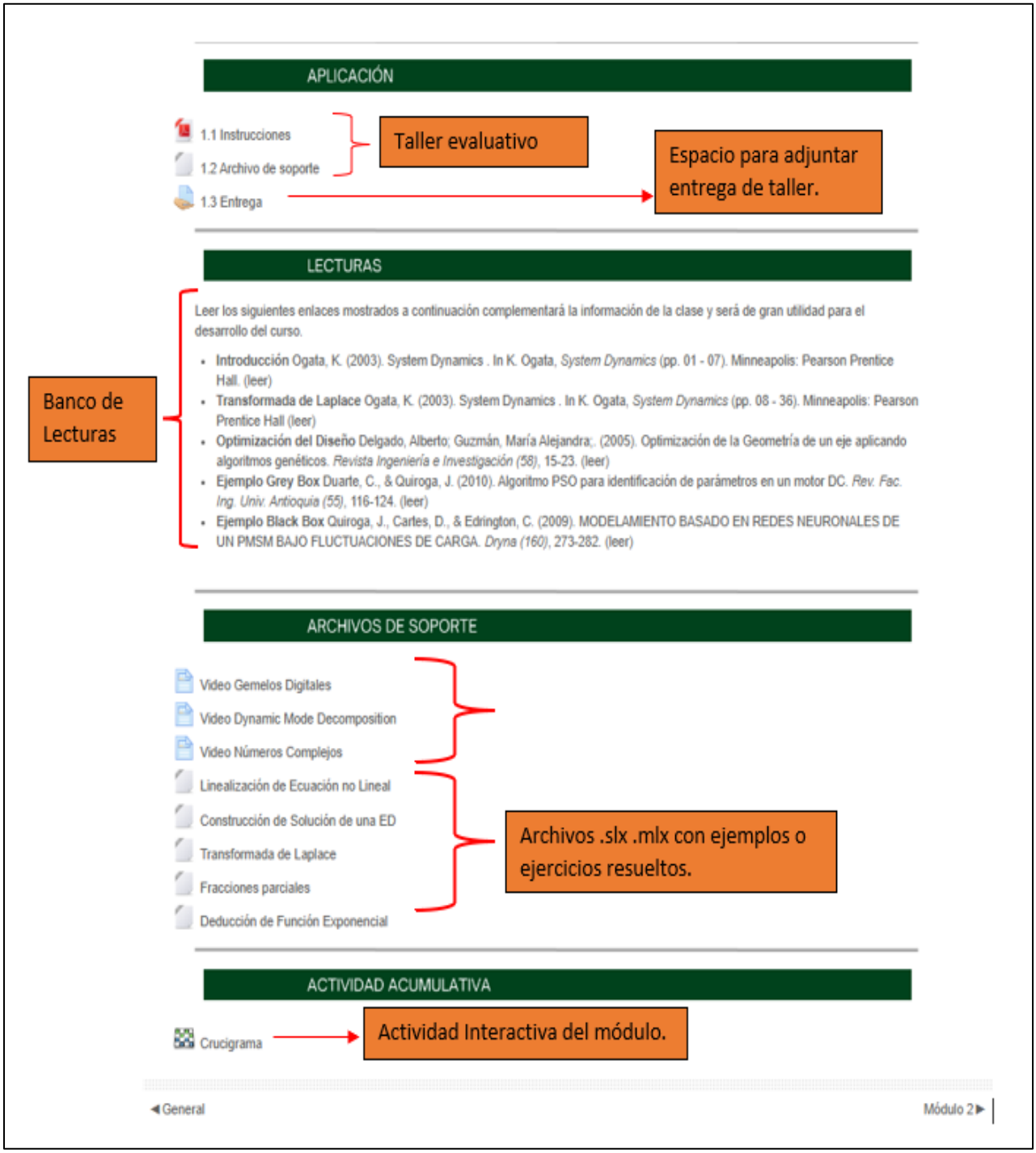
Con esto se da por finalizado el módulo 0 de generalidades del curso. Para el desarrollo de los siguientes módulos (uno, dos ,tres y cuatro) se emplea un diseño homogéneo y constante, de esta manera los estudiantes estarán siempre familiarizados con el contenido del curso y podrán encontrar la información que necesiten de manera más intuitiva y sin esfuerzo. La estructura de los módulos está compuesta de la siguiente manera:

Figura 28 *Plataforma Moodle: Módulo de Contenido(1)*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

Figura 29 *Plataforma Moodle: Módulo de Contenido(2)*



Autor: Autores del Proyecto, Universidad Industrial de Santander

CONCLUSIONES

- La implementación de la plataforma virtual de aprendizaje o cualquier otro uso de las Tecnologías de Información y Comunicación, funcionan de manera impecable en el fortalecimiento de la interacción entre el docente y el estudiante, brindando nuevos canales de comunicación y espacios comunes en los que se logra mantener una participación más eficiente de ambas partes, sin necesidad de tener que acudir a un encuentro presencial.
- Si bien las herramientas virtuales son clave en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, estas deben estar acompañadas de una estructura adecuada y organizada. Un cuerpo de información demasiado amplio y sin orden puede llevar al estudiante a confusiones y frustraciones a la hora de estudiar la asignatura. Preferiblemente la información debe ser clasificada, ordenada y suministrada en pequeñas cantidades, de tal manera que acceder al contenido no represente una tarea abrumadora.
- Las actividades interactivas permiten el desarrollo de un entorno hiperestimulado, Desarrollar unas bases teóricas sólidas basada en el aprendizaje interactivo agudiza las habilidades de pensamiento crítico, que son fundamentales para el desarrollo del razonamiento analítico.
- La implementación de herramientas como el Moodle que son reconocidas a nivel internacional y constan de una comunidad que constantemente nutren el sistema con actualizaciones a medida que nacen nuevas tecnologías van de la mano con la visión que plantea la Universidad Industrial de Santander para el año 2030 de ser reconocida en el entorno nacional e internacional como una comunidad intelectual, ética y diversa, abierta a nuevas formas de pensamiento y que gestiona el conocimiento para el avance y la transformación de la sociedad y la cultura hacia el mejoramiento de la calidad de vida.

- Un diseño modular para la estructuración del contenido puede ser de suma utilidad en la pedagogía contemporánea, en este caso el curso pudo ser dividido en un módulo general y cuatro módulos específicos, estos módulos no solo compilan la información de los cortes evaluativos, si no que adicionalmente obedecen a las metas que la asignatura de Sistemas Dinámicos tiene establecidas desde su origen. De esta manera fue posible integrar en un curso virtual toda la temática perteneciente a la asignatura sistemas dinámicos de una manera práctica y de fácil acceso.
- Los objetos de aprendizaje son fundamentales en un modelo de enseñanza convencional, permiten el acceso a materiales educativos que no tendrían de manera física, adicionalmente garantizan mayor flexibilidad y brindan dinámicas más interesantes/entretenidas para los estudiantes. Con base en las temáticas facilitadas por el docente y las metas de la asignatura, se realizaron diversos objetos de aprendizaje para el curso, dentro de los cuales se puede encontrar: Presentaciones PowerPoint, quices de afianzamiento de la temática vista en las diapositivas, talleres grupales, bancos de lecturas, contenido multimedia, ejercicios resueltos, y actividades acumulativas que consisten en juegos dinámicos para sintetizar los conocimientos por cada módulo.

Referencias Bibliográficas

Ejemplo

Delgado, A. y Guzmán, M. A. (2005). Optimización de la Geometría de un eje aplicando algoritmos genéticos. Revista Ingeniería e Investigación, (58), 15–23.

Duarte, C. y Quiroga, J. (2010). Algoritmo PSO para identificación de parámetros en un motor DC. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia, (55), 116–124.

Lobontiu, N. (2018). System dynamics for engineering students (2a ed.).

Ministerio de Educación de Colombia. (25 de julio de 2019). Decreto 1330. https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201330%20DEL%2025%20DE%20JULIO%20DE%202019.pdf

MOODLE. (s. f.). Open-source learning platform | moodle.org. Moodle.org. https://moodle.org/?lang=es

Morin, D. (s. f.). Las ecuaciones de lagrange. Campus de Gipuzkoa - UPV/EHU. http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/dinamica/lagrange/lagrange.html

Ogata, K. (2003). Systems dynamics (4a ed.). Pearson Prentice Hall.

Padilla Arias, A. (2012). El sistema modular de enseñanza: Una alternativa curricular de educación superior universitaria en México. Revista De Docencia Universitaria, 10(3), 71–98.

Pétry, D. y UNESCO REGIONAL OFFICE FOR EDUCATION IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (CHILE). (s. f.). El enfoque modular en la enseñanza técnica. (p. 99).

Quiroga, J., Cartes, D. y Edrington, C. (2009). Modelamiento basado en redes neuronales de un pmsm bajo fluctuaciones de carga. Dryna, (160), 273–282.

SYSTEM DYNAMICS for engineering students. (s. f.). https://doi.org/10.1016/c2011-0-05346-2

TRANSFER FUNCTION of control system. (s. f.). Electrical4U. https://www.electrical4u.com/transfer-function/

TRANSFORM BETWEEN Time-Domain and Frequency-Domain Data- MATLAB & Simulink- MathWorks América Latina. (s. f.). MathWorks - Creadores de MATLAB y Simulink - MATLAB y Simulink - MATLAB & Simulink. https://la.mathworks.com/help/ident/ug/transforming-between-time-and-frequency-domain.html

Venancio Filho a, F., Claret, A. y Barbosa, F. (s. f.). Frequency and time domain dynamic structural analysis: Convergence and causality. REPOSITORIO INSTITUCIONAL DA UFOP. http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/1144/1/ARTIGO_FrequencyTimeDomain.pdf

WHAT ARE learning objects? (s. f.). Instruct-ional Resources. https://blog.citl.mun.ca/instructionalresources/what-are-learning-objects/

Apéndices

Apéndice A Documento de información complementaria 1-2

Con este libro se busca que el lector sea capaz de formular modelos matemáticos de los sistemas físicos con una simplicidad razonable y podrá también determinar las respuestas transitorias y de frecuencia de tales sistemas.

CAPITULO 1.

INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DINAMICOS

Sistemas: Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente para alcanzar un objetivo específico. Un sistema se llama dinámico si su salida en el presente depende de una entrada en el pasado; si su salida depende solamente de la entrada en curso, el sistema se conoce como estático. En un sistema dinámico la salida cambia con el tiempo cuando no está en su estado de equilibrio.

Modelos matemáticos: Cualquier diseño de sistema debe empezar a partir de una predicción de su funcionamiento antes de que el sistema pueda diseñarse en detalle o construirse físicamente. Tal predicción se basa en una descripción matemática conocida como modelo matemático.

Para los sistemas físicos la mayoría de los modelos matemáticos que resultan útiles se describen en términos de ecuaciones diferenciales. La dinámica de sistemas trata del modelado matemático y el análisis de la respuesta de los sistemas dinámicos.

Ecuaciones diferenciales lineales y no lineales: Las ecuaciones diferenciales lineales pueden clasificarse en ecuaciones diferenciales lineales variantes en el tiempo e invariantes en el tiempo.

Una ecuación diferencial lineal invariante en el tiempo es aquella en la cual una variable dependiente y sus derivadas aparecen como combinaciones lineales. El siguiente es un ejemplo de esta clase de ecuación.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 5\frac{dx}{dt} + 10x = 0$$

Se le conoce también como ecuación diferencial lineal de coeficientes constantes.

una ecuación diferencial lineal variante en el tiempo, la variable dependiente y sus derivadas aparecen como combinaciones lineales, pero algunos de los coeficientes de los términos pueden involucrar a la variable independiente. El siguiente es un ejemplo de este tipo de ecuación

diferencial.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (1 - \cos 2t)x = 0$$

Es importante recordar que con objeto de que sea lineal, la ecuación no debe contener potencias, productos u otras funciones de las variables dependientes y sus derivadas. Ejemplos de ecuaciones diferenciales no lineales.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (x^2 - 1)\frac{dx}{dt} + x = 0$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + x + x^3 = \operatorname{sen}\omega t$$

Sistemas lineales y sistemas no lineales: La propiedad más importante de los sistemas lineales consiste en que se les pueda aplicar el principio de superposición. Este establece que la respuesta producida por la aplicación simultánea de dos funciones de excitación diferentes o entradas, es la suma de dos respuestas individuales. En los sistemas lineales la respuesta a varias entradas puede calcularse tratando una entrada cada vez y después sumando los resultados.

En los sistemas no lineales, la característica más importante es que el principio de superposición no es aplicable. En general, los procedimientos para encontrar la solución de problemas que involucran tales sistemas son extremadamente complicados. A causa de la dificultad matemática que representan los sistemas no lineales, con frecuencia es necesario linealizarlos alrededor de una condición de operación.

Elaboración de modelos (modelado)

Elaboración de modelos matemáticos: Al aplicar leyes físicas a un sistema específico es posible desarrollar un modelo matemático que describa al sistema. Sin embargo, algunas veces las leyes físicas que gobiernan el comportamiento de un sistema no están completamente definidas, y la formulación de un modelo matemático puede resultar imposible. De ser así, se puede utilizar un procedimiento de modelado experimental.

Simplicidad contra exactitud: Cuando se intenta construir un modelo, debe establecerse un equilibrio entre la simplicidad del modelo y la exactitud de los resultados del análisis. Es importante notar que los resultados obtenidos en el análisis son válidos en la medida en que el modelo se aproxime al sistema físico dado. Si no se requiere de una exactitud extrema, es preferible desarrollar un modelo razonablemente simplificado.

Para determinar un modelo razonablemente simplificado, se necesita decidir cuáles de las variables y relaciones físicas pueden despreciarse y cuáles son cruciales en la exactitud del modelo. Con objeto de obtener un modelo en la forma de ecuaciones diferenciales lineales, se deben despreciar cualesquiera parámetros distribuidos y las no linealidades que pueden estar presentes en el sistema físico. Si los efectos que estas propiedades ignoradas tienen en la respuesta son pequeños, entonces los resultados del análisis del modelo matemático y los resultados del estudio experimental del sistema físico serán satisfactorios.

Cuando se resuelve un problema nuevo, usualmente conviene construir primero un modelo simplificado para obtener una idea general en torno a la solución. Posteriormente puede construirse un modelo matemático más detallado y usarlo para un análisis más completo.

Observaciones sobre la elaboración de modelos matemáticos (modelado matemático): Ningún modelo matemático puede representar cualquier componente o sistema físicos con precisión. Siempre se involucran aproximaciones y suposiciones.

Apéndice B Documento de información complementaria 3-4

Procedimiento para la elaboración de modelos matemáticos (modelado matemático): El procedimiento para obtener un modelo matemático de un sistema puede resumirse como sigue.

1) Dibujar un diagrama esquemático del sistema y definir las variables.
2) Utilizando leyes físicas, escribir ecuaciones para cada componente, combinándolos de acuerdo con el diagrama del sistema y obtener un modelo matemático.
3) Para verificar la validez del modelo, la predicción acerca del funcionamiento obtenida al resolver las ecuaciones del modelo se compara con resultados experimentales. (La pregunta sobre la validez de cualquier modelo matemático puede contestarse solamente mediante experimento.) Si los resultados experimentales se alejan de la predicción en forma considerable, debe modificarse el modelo. Entonces se obtiene un nuevo modelo y las nuevas predicciones se comparan con los resultados experimentales. El proceso se repite hasta que se obtiene una concordancia satisfactoria entre la predicción y los resultados experimentales.

Análisis y diseño de sistemas dinámicos

Análisis: Consiste en obtener un modelo matemático del sistema dinámico teniendo en cuenta todos los componentes de sistema y así formar un modelo en el cual se puedan variar sus parámetros con el fin de variar estos y producir varias soluciones.

Diseño: Se trata de encontrar un sistema que satisfaga una tarea específica.

Síntesis: Es el uso de un procedimiento explícito para encontrar un sistema que funcione de manera especificada. En general, este procedimiento es completamente matemático.

Enfoque básico del diseño de sistemas: Teóricamente es posible la síntesis de sistemas lineales y se puede determinar sistemáticamente las componentes necesarias para alcanzar el objetivo dado. En la práctica, el sistema puede estar sujeto a muchas restricciones o puede que no sea lineal, en estos casos es necesario (casi siempre) el uso de las técnicas de tanteo.

Procedimientos de diseño:

1) El procedimiento de diseño empieza a partir de las especificaciones que deben satisfacerse y la dinámica de las componentes, las cuales incluyen los parámetros de diseño.
2) Las especificaciones pueden cambiarse a medida que el diseño progresa, ya que el análisis detallado puede revelar que es imposible satisfacer ciertos requerimientos.
3) Se aplican las técnicas de síntesis y otros métodos para construir un modelo matemático del sistema.
4) Terminado el diseño del modelo, se lleva a cabo el diseño matemático, que produce una solución a la versión matemática del problema de diseño.
5) Terminado el diseño matemático, se simula computacionalmente con el fin de probar el efecto de diferentes entradas y perturbaciones del sistema resultante.
6) Si no se obtiene un resultado satisfactorio, el sistema debe rediseñarse y analizarse hasta encontrar un sistema satisfactorio.

CAPITULO 2.

LA TRANSFORMADA DE LAPLACE

2-1 INTRODUCCION

La transformada de Laplace es una de las herramientas matemáticas más importantes disponibles para modelar y analizar sistemas lineares. Se espera que el estudiante pueda utilizar este método a lo largo de su estudio de los sistemas dinámicos.

2-2 NUMEROS COMPLEJOS, VARIABLES COMPLEJAS Y FUNCIONES COMPLEJAS.

Números complejos: Usando la notación $j = \sqrt{-1}$, todos los cálculos de ingeniería se pueden expresar como

$$z = x + jy$$

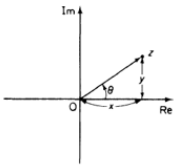


Figura 2-1

Donde z es llamado número complejo y x y jy son la parte real e imaginaria, respectivamente. La representación de z en el plano complejo se muestra en la figura 2-1. El número complejo z puede ser considerado un punto en el plano complejo, o un segmento de línea recta hacia el punto; ambas interpretaciones son útiles.

La magnitud de z es definida como el largo del segmento de línea recta mostrado en la figura 2-1. El ángulo de z es el ángulo que el segmento de línea recta hace con respecto al eje real positivo. Se define como dirección positiva el sentido contrario a las manecillas del reloj.

Magnitud de $z = |z| = \sqrt{x^2 + y^2}$, ángulo de $z = \theta = \tan^{-1}\frac{y}{x}$

El número complejo puede ser escrito en forma rectangular o en forma polar como:

$$\left.\begin{array}{l} z = x + jy \\ z = |z|(\cos\theta + j\sin\theta) \end{array}\right\} \textit{Formas rectangulares}$$

$$\left.\begin{array}{l} z = |z|\angle\theta \\ z = |z|e^{j\theta} \end{array}\right\} \textit{Formas polares}$$

Convirtiendo números complejos a la forma polar desde la forma rectangular, usamos

Apéndice C Documento de información complementaria 5-6

$$|z| = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}\frac{y}{x}$$

Para convertir números complejos a la forma rectangular desde la forma polar, usamos

$$x = |z|cos\theta, \quad y = |z|sin\theta$$

2-3 TRANSFORMADA DE LAPLACE

La transformada de Laplace es un método operacional ventajoso que se puede usar en la solución de ecuaciones diferenciales lineales e invariantes en el tiempo. Al usarlo, las condiciones iniciales son tomadas automáticamente, y ambas de las soluciones particulares y la solucione complementaria pueden ser obtenidas simultáneamente.

Transformada de Laplace. Definamos

$f(t) = función\ del\ tiempo\ tal\ que\ f(t) = 0\ para\ t < 0$
$s = variable\ compleja$
$\mathcal{L} = símbolo\ operacional\ que\ indica\ que\ la\ cantidad\ a\ la\ que$
$antecede\ se\ va\ a\ transformar\ por\ la\ integral\ de\ Laplace$
$\int_0^\infty e^{-st}\,dt$
$F(s) = transformada\ de\ Laplace\ de\ f(t)$

Entonces la transformada de Laplace está dada por

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_0^\infty e^{st}\,dt[f(t)] = \int_0^\infty f(t)e^{st}\,dt$$

El proceso inverso para hallar la función del tiempo $F(t)$ de la transformada de Laplace $F(s)$ se llama transformada inversa de Laplace. Su notación es

$$\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t)$$

2-4 TRANSFORMADA INVERSA DE LAPLACE

Es un proceso que consiste en encontrar la función del tiempo $f(t)$ a partir de la correspondiente transformada de Laplace $F(s)$. El método más simple para hallar la transformada inversa consiste en usar las tablas de transformadas de Laplace para encontrar la función del tiempo $f(t)$ que le toca a una transformada de Laplace dada $F(s)$. Otro método es utilizar el método de expansión en fracciones parciales. En esta sección presentaremos el último.

Método de expansión en fracciones parciales para encontrar transformadas inversas de Laplace

Si $F(s)$, la transformada de $f(t)$, se separa en componentes

$$\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = \mathcal{L}^{-1}[F_1(s)] + \mathcal{L}^{-1}[F_2(s)] + \cdots + \mathcal{L}^{-1}[F_n(s)]$$
$$= f_1(t) + f_2(t) + \cdots + f_n(t)$$

Donde $f_1(t), f_2(t), \ldots, f_n(t)$ son las transformadas inversas de Laplace de $F_1(s), F_2(s), \ldots, F_n(s)$, respectivamente. Donde quiera que la función del tiempo sea continua, la función $f(t)$ y su transformada $F(s)$ tendrán una correspondencia uno a uno.

En los problemas de análisis de sistemas, $F(s)$ ocurre frecuentemente en la forma

$$F(s) = \frac{A(s)}{B(s)}$$

Donde $A(s)$ y $B(s)$ son polinomios en s y el grado de $A(s)$ no es mayor que el de $B(s)$.

La ventaja del enfoque de la expansión en fracciones parciales es que los términos individuales de $F(s)$, resultantes de la expansión en fracciones parciales, son funciones muy simples de s.

Debe notarse que, al aplicar la técnica de expansión en fracciones parciales, las raíces del polinomio $B(s)$ del denominador, deben conocerse por anticipado.

CAPITULO 3

SISTEMAS MECÁNICOS

Modelado y análisis de los sistemas mecánicos.

3-1 INTRODUCCIÓN

Breve descripción de los sistemas de unidades seguida por una explicación de conceptos como la masa, la fuerza y las leyes de Newton.

Se utilizará el sistema internacional de unidades.

3-2 ELEMENTOS MECANICOS

En el modelado matemático de sistemas mecánicos pueden necesitarse tres tipos de elementos básicos: elementos de inercia, de resorte y elementos amortiguadores.

Elementos de inercia: Se entiende como masas y los momentos de inercia. La inercia se define como el cambio en fuerza (par) requerido para producir un cambio unitario en la aceleración.

$$Inercia\ (masa) = \frac{cambio\ de\ fuerza}{cambio\ en\ la\ aceleración}\ \frac{N}{m/s^2}$$

$$Inercia\ (momento\ de\ inercia) = \frac{cambio\ en\ el\ par}{cambio\ en\ la\ aceleración\ angular}\ \frac{N-m}{rad/s^2}$$

Elementos de un resorte: Un resorte lineal es un elemento mecánico que puede ser deformado por una fuerza externa tal que la deformación sea directamente proporcional a la fuerza o par que se le aplique. Observando la figura 3-1(a), consideramos solamente el movimiento traslacional. Suponiendo que la longitud natural del resorte es X, el resorte está fijo en un extremo, el otro está libre. Luego, una fuerza f es aplicada en la parte libre, esto hace que el resorte se estire. La elongación del resorte es x. La fuerza que surge en el resorte es proporcional a x y está dada por:

$$F = kx \qquad (3\text{-}1)$$

Donde k es la constante de proporcionalidad del resorte (constante del resorte). En el punto P, la fuerza F se opone a la fuerza f aplicada en el punto P.

Apéndice D Documento de información complementaria 7-8

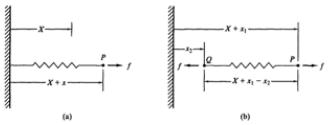


Figura 3-1.

La figura 3-1(b) muestra el caso donde ambos extremos del resorte son deformados por la fuerza f aplicada a cada extremo. La longitud natural del resorte es X. La elongación total del resorte es $x_1 - x_2$. La fuerza que actúa en este resorte es:

$$F = k(x_1 - x_2) \qquad (3\text{-}2)$$

En el punto P, la fuerza F actúa hacia la izquierda. En el punto Q, F actúa hacia la derecha.

Ahora consideremos el resorte torsional mostrado en la figura 3-2(a), donde un extremo está fijo y el torque τ es aplicado al otro extremo. El desplazamiento angular del lado libre es θ. El torque T resultante en este resorte es

$$T = k\theta \qquad (3\text{-}3)$$

En el lado libre, este torque actúa en el resorte torsional de manera opuesta al torque τ aplicado.

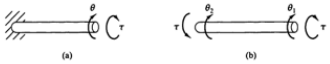


Figura 3-2

Para el resorte torsional mostrado en la figura 3-2(b), torques de igual magnitud, pero de dirección opuesta, son aplicados a los extremos del resorte. En este caso, el torque que actúa en el resorte es

$$T = k(\theta_1 - \theta_2) \qquad (3\text{-}4)$$

Constante del resorte k para resorte traslacional

$$k = \frac{cambio\ en\ la\ fuerza}{cambio\ en\ el\ desplazamiento\ del\ resorte}\ \frac{N}{m}$$

Constante del resorte k para resorte de torsión

$$k = \frac{cambio\ en\ el\ par}{cambio\ en\ el\ desplazamiento\ angular\ del\ resorte}\ \frac{N-m}{rad}$$

El recíproco de la constante del resorte k se denomina compliancia o capacitancia mecánica C.

$$C = \frac{1}{k}$$

Todos los resortes prácticos tienen inercia y amortiguamiento. En nuestro análisis en este libro, sin embargo, supondremos que el efecto de la masa en un resorte es despreciable, esto es, la fuerza de inercia debida a la aceleración del resorte es despreciable por su pequeñez comparada con la fuerza del resorte. También, supondremos que el efecto de amortiguamiento del resorte es de tamaño despreciable.

Elementos amortiguadores: Un amortiguador es un elemento mecánico que disipa energía en forma de calor en lugar de almacenarla. La figura 3-3(a) muestra un diagrama esquemático de un amortiguador traslacional, el cual consiste en un pistón y un cilindro lleno de aceite. Esencialmente, el amortiguador absorbe energía y la energía absorbida se disipa como calor que fluye al ambiente.

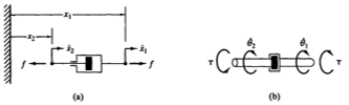


Figura 3-3

Las fuerzas en los extremos del amortiguador traslacional están en la misma línea y son de igual magnitud. La fuerza F que actúa sobre él es proporcional a la diferencia de velocidad $\dot{x}$ de ambos extremos.

$$F = b\dot{x} = b(\dot{x_1} - \dot{x_2}) \quad (3\text{-}5)$$

Donde b es la constante de proporcionalidad que relaciona la fuerza externa F y la diferencia de velocidad $\dot{x}$. Es denominada como coeficiente de fricción viscosa o constante de fricción viscosa.

Para el amortiguamiento de torsión o rotacional, mostrado en la figura 2-3, el par aplicado a los extremos del amortiguador es proporcional a la diferencia de velocidad angular de ambos extremos.

$$T = b\dot{\theta} = b(\dot{\theta_1} - \dot{\theta_2}) \quad (3\text{-}6)$$

Donde

T = Par aplicado a los extremos del amortiguador de torsión.

$\dot{\theta}_1$ = Velocidad angular de un extremo.

$\dot{\theta}_2$ = Velocidad angular del otro extremo.

b = Coeficiente de fricción viscosa de torsión.

Apéndice E Documento de información complementaria 9-10

Un amortiguador es un elemento que provee resistencia en el movimiento mecánico, en consecuencia, a menudo se trata de un amortiguador como un *elemento de resistencia mecánica* y al coeficiente de fricción viscosa como a la *resistencia mecánica.*

Resistencia mecánica b para amortiguador traslacional

$$b = \frac{cambio\ en\ la\ fuerza}{cambio\ en\ la\ velocidad} \quad \frac{N}{m/s}$$

Resistencia mecánica b para amortiguadores de torsión

$$b = \frac{cambio\ en\ el\ par}{cambio\ en\ la\ velocidad\ angular} \quad \frac{N-m}{rad/s}$$

Todos los amortiguadores prácticos producen efectos de inercia y de resorte. En este libro, sin embargo, suponemos que esos efectos son despreciables.

3-3 MODELADO MATEMATICO DE SISTEMAS MECANICOS SIMPLES

Cuerpo rígido: Cuando se acelera un cuerpo real, se tienen presente siempre deflexiones elásticas internas. Si estas deflexiones internas son despreciables por su relativa pequeñez respecto al movimiento total del cuerpo entero, el cuerpo se denomina cuerpo rígido.

Primera ley de Newton: Esta ley trata de la conservación de la cantidad de movimiento, establece que la cantidad de movimiento total de un sistema mecánico es constante en ausencia de fuerzas externas.

Segunda ley de Newton (del movimiento traslacional): La aceleración de cualquier cuerpo rígido es directamente proporcional a la fuerza que actúe sobre él e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

Segunda ley de Newton (del movimiento rotacional): Establece que la suma de todos los pares es igual al producto entre el momento de inercia y la aceleración angular.

Supóngase que unas fuerzas actúan sobre una masa m. Si ΣF es la suma de todas las fuerzas que actúan en una dirección dada, entonces:

$$\Sigma F = ma \qquad (3\text{-}7)$$

Para un cuerpo rígido en rotación pura alrededor de un eje fijo, la segunda ley de Newton establece que:

$$\Sigma T = J\propto \qquad (3\text{-}8)$$

Torque o momento de fuerza: Se define como cualquier causa que tienda a producir un cambio en el movimiento rotacional de un cuerpo sobre el cual actúa.

Momento de inercia: Es una medida de la resistencia de un cuerpo rígido a la aceleración angular.

El momento de inercia J de un cuerpo rígido sobre un eje es

$$J = \int r^2\, dm$$

$dm = Elemento\ de\ masa.$
$r = Distancia\ del\ eje\ a\ dm.$

Momentos de inercia de formas comunes:

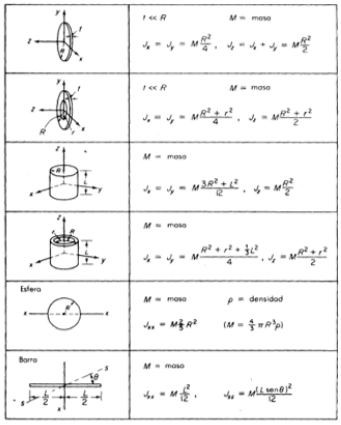


Tabla 3.2

Momento de inercia alrededor de un eje diferente del eje geométrico: El momento de inercia alrededor de un eje que está a una distancia x del eje geométrico, que pasa a través del centro de gravedad, es la suma del momento de inercia alrededor del eje geométrico y el momento de inercia considerado concentrado en el centro de gravedad alrededor del nuevo eje.

CAPITULO 4

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA ENFOCADA EN MODELADO DE SISTEMAS DINAMICOS

Apéndice F Documento de información complementaria 11-12

4-1 INTRODUCCION

En este capitulo se presenta la función de transferencia aproximada al modelado y análisis de sistemas dinámicos. Primero se define la función de transferencia y luego se introducen los diagramas de bloques. MATLAB juega un rol importante en la obtención de soluciones computacionales. Se obtendrán curvas en el dominio de tiempo con entradas como, step, impulse, ramp y otras.

Función de transferencia: La función de transferencia para un sistema linear invariante en el tiempo de una ecuación diferencial, es definida como la proporción de la salida de la transformada de Laplace con respecto a la transformada de Laplace de la entrada, asumiendo que todas las condiciones iniciales son cero.

Considere el sistema linear invariable en el tiempo definido por la ecuación diferencial

$$a_0 \overset{(n)}{y} + a_1 \overset{(n-1)}{y} + \cdots + a_{n-1}\dot{y} + a_n y$$

$$= b_0 \overset{(m)}{x} + b_1 \overset{(m-1)}{x} + \cdots + b_{m-1}\dot{x} + b_m x \qquad (n \geq m)$$

Donde y es la salida del sistema y x es la entrada. La función de transferencia de este sistema es la proporción de la transformada de Laplace de la salida con respecto a la de la entrada cuando todas las condiciones iniciales son cero

$$Función\ de\ trasnferencia = G(s) = \frac{\mathcal{L}[salida]}{\mathcal{L}[entrada]}$$
$$= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \cdots + b_{m-1}s + bm}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + an} \qquad (4\text{-}1)$$

Comentarios en la función de transferencia: La aplicación de este concepto es limitado para ecuaciones diferenciales de sistemas lineales e invariables en el tiempo.

1. La función de transferencia de un sistema es un modelo matemático de este, es un método operacional para expresar la ecuación diferencial que relaciona la variable de salida con la variable de entrada.
2. Es una propiedad del sistema, no se relaciona con la magnitud ni con el origen de la entrada.
3. No proporciona información con respecto a la estructura física del sistema.
4. Si la función de transferencia de un sistema es conocida, la salida o respuesta puede ser estudiada por distintos tipos de entrada, con el fin de entender la naturaleza del sistema.
5. Si se desconoce la función de transferencia de un sistema, se puede establecer experimentalmente introduciendo entradas conocidas y estudiando la salida del sistema. Una vez establecida, una función de transferencia da una descripción completa de las características dinámicas del sistema, a diferencia de su descripción física.

Función de respuesta a impulso: La función de transferencia para un sistema linear invariable en el tiempo es

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

Donde $X(s)$ es la transformada de Laplace de la entrada y $Y(s)$ es la transformada de Laplace de la salida y asumiendo que todas las condiciones iniciales implicadas son iguales a cero. Eso quiere decir que $Y(s)$ puede ser escrita como

$$Y(s) = G(s)X(s) \qquad (4\text{-}2)$$

Ahora, considere la entrada del sistema para una entrada de impulso unitario. La transformada de Laplace de dicho impulso unitario es $X(s) = 1$, la transformada de Laplace de la salida del sistema es

$$Y(s) = G(s) \qquad (4\text{-}3)$$

La transformada inversa de Laplace de la salida dada en la ecuación (4-3) da la respuesta del sistema al impulso.

La transformada inversa de Laplace de $G(s)$ es llamada la función de respuesta a impulso del sistema.

4-2 DIAGRAMAS DE BLOQUE

Diagramas de bloques de sistemas dinámicos: Un diagrama de bloque de un sistema dinámico es una representación gráfica de las funciones realizada por cada componente del sistema y de las señales que tiene este. Un diagrama de bloques tiene la ventaja de indicar las señales del sistema actual de manera más realista.

En un diagrama de bloque, todas las variables del sistema están vinculadas entre sí por medio de bloques funcionales. Las funciones de transferencia de los componentes están normalmente conectadas con su bloque correspondiente, se conectan por medio de flechas que indican la dirección de la señal.

La figura 4-1 muestra un elemento de un diagrama de bloque. La flecha que entra indica la entrada del bloque, y la flecha que sale indica la salida de este.

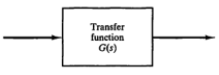


Figura 4-1

Note que la dimensión de la señal de salida del bloque es la dimensión de la señal de entrada multiplicada por la dimensión de la función de transferencia.

Teniendo en cuenta que el diagrama de bloque contiene información con respecto al comportamiento dinámico y que no incluye información acerca de la construcción física del sistema,

Apéndice G Documento de información complementaria 13-14

sistemas distintos o que no se relacionan, pueden ser representados con el mismo diagrama de bloque.

Punto de suma: La figura 4-2 muestra un círculo con una cruz, símbolo que representa una operación de suma. Los signos más o menos, en cada punta de la flecha indican si la señal asociada será sumada o será restada. Es importante que las cantidades tengan las mismas dimensiones y las mismas unidades.

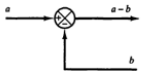


Figura 4-2

Punto de bifurcación: Es un punto desde el cual la señal de un bloque va hacia otro bloque o a puntos de suma.

Diagrama de bloque de un sistema cerrado: La figura 4-3 es un diagrama de bloque de un sistema cerrado. La salida $C(s)$ se retroalimenta con el punto de suma, donde es comparado con la entrada $R(s)$. La salida $C(s)$ de este bloque es obtenida multiplicando la función de transferencia $G(s)$ por la entrada del bloque $E(s)$.

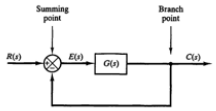


Figura 4-3.

Cualquier sistema linear puede ser representado por un diagrama de bloque, que consiste de bloques, puntos de suma y puntos de bifurcación. Cuando la salida se retroalimenta al punto de suma para compararse con la entrada, es necesario convertir la forma de la señal de salida para esa señal de entrada. Esta conversión es lograda por el elemento de retroalimentación cuya función de transferencia es $H(s)$, como se muestra en la figura 4-4. En esta figura, la señal de retroalimentación que va al punto de suma para compararse con la entrada es $B(s) = H(s)C(s)$.

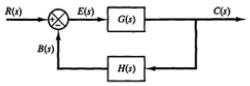


Figura 4-4.

4-3 EXPANSION DE FRACCION PARCIAL CON MATLAB

Representación de MATLAB de las funciones de transferencia: La función de transferencia de un sistema es representado por dos matrices de números, considere el sistema definido por

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{25}{s^2 + 4s + 25}$$

Este sistema es representado por dos matrices, cada una contiene los coeficientes de los polinomios decrecientemente en potencias de s, como sigue

$$num = [25]$$
$$den = [1\ 4\ 25]$$

Expansión de fracción parcial con MATLAB: MATLAB nos permite obtener la expansión de fracción parcial de la relación de dos polinomios

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{num}{den} = \frac{b(1)s^n + b(2)^{n-1} + \dots + b(h)}{a(1)s^n + a(2)s^{n-1} + \dots + a(n)}$$

Donde $a(1) \neq 0$, alguno de $a(i)$ y $b(j)$ puede ser cero, y num y den son ahora vectores en fila que especifican los coeficientes del numerador y denominador de $B(s)/A(s)$, esto es

$$num = [b(1)\ b(2)\ \dots\ b(h)]$$
$$den = [a(1)\ a(2)\ \dots\ a(n)]$$

El comando

$$[r, p, k] = residue(num, den)$$

Encuentra el residuo, polos y términos directos de la expansión de fracción parcial de la relación de dos polinomios $B(s)$ y $A(s)$. Esta expansión de fracción parcial es dada por

$$\frac{B(s)}{A(s)} = k(s) + \frac{r(1)}{s - p(1)} + \frac{r(2)}{s - p(2)} + \dots + \frac{r(n)}{s - p(n)}$$

4-4 ANALISIS DE RESPUESTA TRANSITORIA CON MATLAB

Esta sección presenta la aproximación de MATLAB para obtener respuestas del sistema cuando las entradas son en dominio del tiempo, como step, impulse y ramp.

Representación de función de transferencia de sistemas en MATLAB: La figura 4-5 muestra un bloque con una función de transferencia. El bloque representa un sistema o un elemento de un

Apéndice H Documento de información complementaria 15-16

sistema. Para simplificar nuestra presentación, llamaremos al bloque con una función de transferencia, MATLAB usa sys para representar tal sistema.

$$sys = tf(num, den) \quad (4\text{-}4)$$

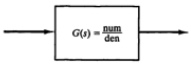


Figura 4-5.

Considere el siguiente ejemplo

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{2s + 25}{s^2 + 4s + 25}$$

Donde notamos que

$$num = [2\ 25]$$
$$den = [1\ 4\ 25]$$

Introduciendo esto a MATLAB podemos obtener la función de transferencia del sistema, como se muestra en la figura 4-6

```
>> num = [2   25];
>> den = [1   4   25];
>> sys = tf(num,den)
Transfer function:
    2 s + 25
-------------------
s^2 + 4 s + 25
```

Figura 4-6.

Respuesta al impulso (impulse): Esta respuesta puede ser obtenida utilizando alguno de los comandos de MATLAB mostrados en la figura 4-7.

```
impulse(sys)        or    impulse(num,den)
impulse(sys,t)      or    impulse(num,den,t)
y = impulse(sys)    or    y = impulse(num,den)
[y,t] = impulse (sys,t)   or    [y,t] = impulse(num,den,t)
```

Figura 4-7.

El comando $impulse(sys)$ va a generar una gráfica de la respuesta del impulse y va a mostrar una curva de esto en la pantalla.

Entrada de impulso (impulse): La respuesta de impulso de un sistema mecánico puede ser observado cuando el sistema es sometido a una fuerza larga en un periodo de tiempo corto. Matemáticamente, una entrada de impulso puede ser expresado por una función de impulso.

Ley de conservación del momento: El momento de una masa m moviéndose a una velocidad v es mv. De acuerdo con la segunda ley de Newton,

$$F = ma = m\frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(mv)$$

Entonces,

$$Fdt = d(mv) \quad (4\text{-}5)$$

Integrando ambos lados de la ecuación, obtenemos

$$\int_{t_1}^{t_2} F\,dt = \int_{v_1}^{v_2} d\,(mv) = mv_2 - mv_1 \quad (4\text{-}6)$$

Donde $v_1 = v(t_1)$ y $v_2 = v(t_2)$. El momento es un vector con magnitud, dirección y sentido.

Obtención de respuesta para entrada arbitraria: El comando $lsim$ produce la respuesta para entradas arbitrarias de sistemas lineales e invariables en el tiempo. Si las condiciones iniciales son cero, tenemos

$$lsim(sys, u, t) \quad o \quad lsim(num, den, u, t)$$

Esto produce la respuesta del sistema para la entrada u y el tiempo t. El tiempo se puede especificar como $t = 0{:}\,0.01{:}\,10$.

CAPITULO 5

ESPACIO DE ESTADOS ENFOCADO EN MODELADO DE SISTEMAS DINAMICOS

5-1 INTRODUCCION

La tendencia moderna en los sistemas dinámicos es hacia una mayor complejidad, ya que se requieren tareas complejas con alta precisión. Los sistemas complejos, pueden tener múltiples entradas y múltiples salidas. Estos sistemas pueden ser lineales o no lineales, invariantes en el tiempo o variantes en el tiempo. Un enfoque muy bueno para tratar dichos sistemas es el enfoque de espacio de estado basado en el concepto de estado.

Para entrar en contexto se explicarán algunos conceptos.

Estado: El estado de un sistema dinámico es el conjunto mas pequeño de variables, dado que el conocimiento de esas variables en $t = t_0$ junto con la entrada para $t \geq t_0$ determina completamente el comportamiento del sistema para cualquier tiempo $t \geq t_0$.

Cuando se trata con sistemas lineales e invariables en el tiempo, usualmente se usa de referencia el tiempo t_0 como cero.

Apéndice I Documento de información complementaria 17-18

Variables de estado: Son las variables que constituyen el conjunto de variables mas pequeño que determina el estado del sistema dinámico. Es importante saber que las variables que no representan cantidades físicas pueden ser seleccionadas como variables de estado.

Vector de estado: Si necesitamos n variables de estados para describir el comportamiento de un sistema dado, entonces esas variables de estados pueden ser consideradas los n componentes del vector x llamado vector de estado.

Espacio de estados: Es el espacio $n\text{-}dimensional$ cuyos ejes de coordenadas consisten en $x_1\text{-}axis, x_2\text{-}axis, \ldots, x_n\text{-}axis$. Cada estado puede ser representado por un punto en el espacio de estados.

Ecuaciones de espacio de estados: En el análisis de espacio de estados, nos preocupan tres tipos de variables que están involucradas en el modelado de sistemas dinámicos: variables de entradas, variables de salida y variables de estado. Si un sistema es lineal e invariable en el tiempo, y es descrito por n variables de estado, r variables de entrada y m variables de salida, entonces la ecuación de estado tendrá la siguiente forma

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n + b_{11}u_1 + b_{12}u_2 + \cdots + b_{1r}u_r \\ \dot{x}_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n + b_{21}u_1 + b_{22}u_2 + \cdots + b_{2r}u_r \\ &\vdots \\ \dot{x}_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n + b_{n1}u_1 + b_{n2}u_2 + \cdots + b_{nr}u_r \end{aligned}$$

Y la ecuación de salida tendrá la forma

$$\begin{aligned} y_1 &= c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \cdots + c_{1n}x_n + d_{11}u_1 + d_{12}u_2 + \cdots + d_{1r}u_r \\ y_2 &= c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \cdots + c_{2n}x_n d_{21}u_1 + d_{22}u_2 + \cdots + d_{2r}u_r \\ &\vdots \\ y_m &= c_{m1}x_1 + c_{m2}x_2 + \cdots + c_{mn}x_n + d_{m1}u_1 + d_{m2}u_2 + \cdots + d_{mr}u_r \end{aligned}$$

Donde los coeficientes a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} y d_{ij} son constantes, algunos podrían ser cero. Si usamos la expresión matriz-vector, esas ecuaciones pueden ser escritas como

$$\dot{x} = Ax + Bu \qquad (5\text{-}1)$$
$$y = Cx + Du \qquad (5\text{-}2)$$

Donde

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1r} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2r} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nr} \end{bmatrix}, \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}, \mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix}, \mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1r} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2r} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mr} \end{bmatrix}$$

Las matrices **A, B, C** y **D** son llamadas matriz de estado, matriz de entrada, matriz de salida y matriz de transmisión directa, respectivamente. Los vectores **x**,**u** y **y** son el vector de estado, vector de entrada y vector de salida, respectivamente.

La figura 5-1 muestra un diagrama de bloque que representa las ecuaciones (5-1) y (5-2).

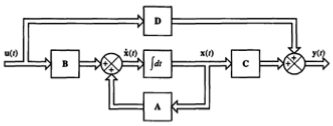


Figura 5-1.

CAPITULO 6

SISTEMAS ELECTRICOS Y SISTEMAS ELECTROMECANICOS

6-1 INTRODUCCION

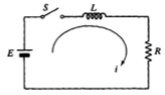
Este capítulo está interesado en el modelado matemático y la respuesta del análisis de sistemas eléctricos y sistemas electromecánicos. Estos sistemas son descritos frecuentemente por modelos matemáticos análogos.

6-3 MODELADO MATEMATICO DE SISTEMAS ELECTRICOS

El primer paso en el análisis de problemas de circuitos es obtener modelos matemáticos para los circuitos. Un modelo matemático puede consistir en ecuaciones algebraicas, ecuaciones diferencias, y otras similares. Las variables de interés en el análisis de circuitos son voltajes y corrientes en vario puntos a través de l circuito.

Ejemplo

Considere el circuito mostrado en la figura 6-8. Asuma que el switch S está abierto para $t < 0$ y cerrado en $t = 0$. Obtenga un modelo matemático para el circuito y obtenga una ecuación para la corriente $i(t)$.



Apéndice J Documento de información complementaria 19-20

Figura 6-8.

Seleccionando arbitrariamente la dirección de la corriente alrededor del lazo, como se muestra en la figura, obtenemos

$$E - L\frac{di}{dt} - Ri = 0$$

O

$$L\frac{di}{dt} + Ri = E \qquad (6\text{-}1)$$

Este es un modelo matemático para el circuito dado.

Resolviendo la Ec. (6-1) para la corriente $i(t)$. Utilizando la transformada de Laplace en ambos lados, obtenemos:

$$L[sI(s) - i(0)] + RI(s) = \frac{E}{s}$$

Notando que $i(0) = 0$, tenemos

$$(Ls + R)I(s) = \frac{E}{s}$$

O

$$I(s) = \frac{E}{s(Ls+R)} = \frac{E}{R}\left[\frac{1}{s} - \frac{1}{s + \left(\frac{R}{L}\right)}\right]$$

La transformada inversa de Laplace de esta última ecuación nos da

$$i(t) = \frac{E}{R}\left[1 - e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t}\right] \qquad (6\text{-}2)$$

Un gráfico típico de $i(t)$ vs t es mostrado en la figura 6-9

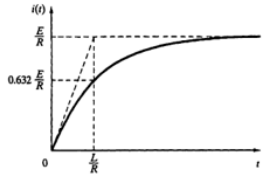


Figura 6-9.

6-4 SISTEMAS ANALOGOS

Los sistemas que pueden ser representados por el mismo modelo matemático, pero son diferentes físicamente, son denominados *sistemas análogos*. Así, estos sistemas son descritos por la misma ecuación diferencial o función de transferencia.

Este concepto es útil en la práctica, por las siguientes razones:

1. La solución de la ecuación que describe un sistema físico puede ser directamente aplicada a un sistema análogo en cualquier otro campo.
2. Dado que un tipo de sistema puede ser más fácil de manejar experimentalmente que otro, en lugar de construir y estudiar un sistema mecánico (u otro tipo de sistema como hidráulico, neumático, entre otros) podríamos construir y estudiar el análogo eléctrico, ya que los sistemas eléctricos son más fáciles de manejar experimentalmente.

En esta sección se presenta la analogía entre sistemas mecánicos y eléctricos.

Analogías mecánico-eléctricas: Los sistemas mecánicos pueden estudiarse mediante el uso de sus análogos eléctricos, los cuales pueden construirse más fácilmente que los modelos del sistema mecánico correspondiente. Hay dos analogías para los sistemas mecánicos: fuerza-voltaje y fuerza-corriente.

Analogía fuerza-voltaje: Considérese el sistema mecánico de la figura 6-13(a) y el sistema eléctrico de la figura 6-13(b).

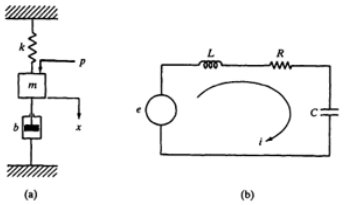


Figura 6-13

La ecuación del sistema para el primero es

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + b\frac{dx}{dt} + kx = p \qquad (6\text{-}10)$$

Y la ecuación del sistema para el segundo es

$$L\frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C}\int i\,dt = e$$

Apéndice K Documento de información complementaria 21-22

En términos de la carga eléctrica q la última ecuación se hace

$$L\frac{d^2q}{dt^2}+R\frac{dq}{dt}+\frac{1}{C}q=e \qquad (6\text{-}11)$$

Comparando las ecuaciones (6-10) y (6-11), vemos que las ecuaciones diferenciales de los dos sistemas son idénticas. Los términos que ocupan las posiciones correspondientes en las ecuaciones diferenciales se llaman *cantidades análogas*, una lista de ellas aparece en la tabla 6-1.

Mechanical Systems	Electrical Systems
Force p (torque T)	Voltage e
Mass m (moment of inertia J)	Inductance L
Viscous-friction coefficient b	Resistance R
Spring constant k	Reciprocal of capacitance, $1/C$
Displacement x (angular displacement θ)	Charge q
Velocity $\dot{x}$ (angular velocity $\dot{\theta}$)	Current i

Tabla 6-1.

Analogía fuerza-corriente: Considérese el sistema mecánico mostrado en la figura 6-14(a) y el sistema eléctrico mostrado en la figura 6-14(b).

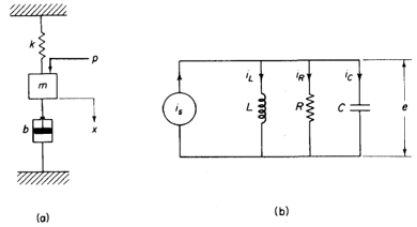


Figura 6-14.

La ecuación del sistema para el primero es

$$m\frac{d^2x}{dt^2}+b\frac{dx}{dt}+kx=p \qquad (6\text{-}12)$$

Para el segundo, aplicando la ley de corrientes de Kirchhoff da

$$i_L+i_R+i_C=i_s \qquad (6\text{-}13)$$

Donde

$$i_L=\frac{1}{L}\int e\,dt, \qquad i_R=\frac{e}{R}, \qquad i_C=C\frac{de}{dt}$$

La ecuación (6-13) puede escribirse como

$$\frac{1}{L}\int e\,dt+\frac{e}{R}+C\frac{de}{dt}=i_s \qquad (6\text{-}14)$$

Puesto que el enlace de flujo ψ está relacionado con el voltaje e mediante la ecuación

$$\frac{d\psi}{dt}=e$$

En términos de ψ la ecuación (6-14) puede escribirse

$$C\frac{d^2\psi}{dt^2}+\frac{1}{R}\frac{d\psi}{dt}+\frac{1}{L}\psi=i_s \qquad (6\text{-}15)$$

Comparando las ecuaciones (6-12) y (6-15), encontramos que los dos sistemas son análogos. Los términos que ocupan las posiciones correspondientes en las ecuaciones diferenciales se llaman *cantidades análogas*, una lista de ellas aparece en la tabla 6-2.

Mechanical Systems	Electrical Systems
Force p (torque T)	Current i
Mass m (moment of inertia J)	Capacitance C
Viscous-friction coefficient b	Reciprocal of resistance, $1/R$
Spring constant k	Reciprocal of inductance, $1/L$
Displacement x (angular displacement θ)	Magnetic flux linkage ψ
Velocity $\dot{x}$ (angular velocity $\dot{\theta}$)	Voltage e

Tabla 6-2.

6-5 MODELAMIENTO MATEMATICO DE SISTEMAS ELECTROMECANICOS.

Tren de engranajes: Es usado frecuentemente en sistemas mecánicos para reducir velocidad, para aumentar torque, o para obtener la transferencia de potencia más eficiente haciendo coincidir la parte impulsora a la carga dada. La figura 6-15 muestra un sistema de tren de engranajes simple.

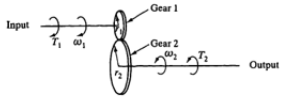


Figura 6-15.

Apéndice L1 Documento de información complementaria 23-24

Donde el radio del engranaje 1 y del engranaje 2 son r_1 y r_2 respectivamente, y los números de dientes en el engranaje 1 y en el engranaje 2 son n_1 y n_2 respectivamente, entonces

$$\frac{r_1}{r_2}=\frac{n_1}{n_2}$$

Teniendo en cuenta que la velocidad de superficie en el punto de contacto de los dos engranajes es igual, tenemos

$$r_1\omega_1=r_2\omega_2$$

Donde ω_1 y ω_2 son las velocidades del engranaje 1 y el engranaje 2 respectivamente

$$\frac{\omega_2}{\omega_1}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{n_1}{n_2}$$

Si no tenemos en cuenta la perdida de fricción, el tren de engranajes transmite la potencia sin cambio. Es decir

$$T_1\omega_1=T_1\omega_2$$

CAPITULO 7

SISTEMAS DE FLUIDOS Y SISTEMAS TERMICOS

7-1 INTRODUCCION

En el campo de ingeniería, el término hidráulica describe los sistemas de fluidos que usan líquido, y neumático aplica para los que usan aire o gas.

Los modelos matemáticos de sistemas fluidos generalmente son no lineares. Si se asume que la operación de un sistema no linear se aproxima a un punto de operación normal, entonces el sistema puede ser linealizado aproximado a su punto de operación y el modelo matemático puede ser lineal.

Los sistemas térmicos generalmente tienen parámetros distribuidos. Los modelos matemáticos de sistemas térmicos normalmente incluyen ecuaciones diferenciales parciales. En este capítulo se asume que estos sistemas agrupan parámetros, entonces las aproximaciones de modelos matemáticos pueden ser obtenidos en términos de ecuaciones diferenciales ordinarias o funciones de transferencia.

7-2 MODELAMIENTO MATEMATICO DE SISTEMAS DE NIVEL DE LIQUIDO

Los procesos industriales frecuentemente involucran sistemas que consisten en tanques llenos de líquidos, conectados con tuberías, válvulas, entre otros accesorios que restringen el flujo. Es importante saber el comportamiento dinámico de tal sistema. Este comportamiento puede ser precedido una vez los modelos matemáticos de los sistema sean conocidos.

Modelamiento matemático de sistemas de nivel de líquido: En el modelamiento matemático de sistemas de nivel de líquido, no consideramos la inertancia, porque es insignificante. Caracterizamos estos sistemas en términos de la resistencia y la capacitancia. Obtendremos el modelo matemático del sistema de nivel de líquido mostrado en la figura 7-3(a). Si las condiciones de operación en cuanto a la altura y el caudal se consideran que varían poco durante el período, el modelo matemático puede ser considerado fácilmente en términos de la resistencia y la capacitancia. En este análisis, asumimos que el líquido que sale de la válvula es turbulento.

Definimos:

H = *cabeza en estado estable (antes de que cualquier cambio ocurra), m*
h = *pequeña desviación de la caveza con respecto al valor de estado estable, m*
Q = *caudal en estado estable (antes de que cualquier cambio ocurra), m^3/s*
q_i = *pequeña desviación del caudal de entrada con respecto al valor de estado estable, m^3/s*

q_o = *pequeña desviación del caudal de salida con respecto al valor de estado estable, m^3/s*

El cambio en el líquido almacenado en el tanque durante dt segundos es igual al total flujo neto de entrada al tanque durante el mismo tiempo (dt), entonces:

$$Cdh=(q_i-q_o)dt \qquad (7\text{-}3)$$

Donde C es la capacitancia del tanque.

En el presente sistema, definimos:

$$dH=h, \qquad dQ=q$$

Y la resistencia se escribe como

$$R=\frac{dH}{dQ}=\frac{h}{q_o}$$

Sustituyendo $q_o=h/R$ en la ecuación (7-3),

$$C\frac{dh}{dt}=q_i-\frac{h}{R}$$

O

$$RC\frac{dh}{dt}+h=Rq_i \qquad (7\text{-}4)$$

RC tiene dimensión del tiempo, y es el tiempo constante del sistema. La ecuación (7-4) es una linealización del modelo matemático del sistema cuando h es considerada la salida del sistema.

Si se considera q_0 en lugar de h como salida del sistema, se obtiene otro modelo matemático, que también es una linealización del sistema.

$$RC\frac{dq_o}{dt}+q_o=q_i \qquad (7\text{-}5)$$

Sistemas análogos: El sistema de nivel de líquido considerado acá es análogo al sistema eléctrico mostrado en la figura 7-4(a). Es también análogo al sistema mecánico mostrado en la figura 7-4(b). Para el sistema eléctrico, el modelo matemático es:

$$RC\frac{de_o}{dt}+e_o=e_i \qquad (7\text{-}6)$$

Y para el sistema mecánico es:

$$\frac{b}{k}\frac{dx_o}{dt}+x_o=x_i$$

Apéndice M Documento de información complementaria 25-26

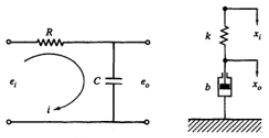


Figura 7-4.

Sistema de nivel de líquido con interacción: Considere el sistema mostrado en la figura 7-5.

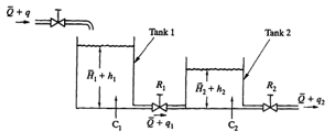


Figura 7-5.

En este sistema, dos tanques interactúan. Si las variaciones de las variables de sus respectivos valores de estado estable son pequeños, la resistencia R_1 permanece constante. Por lo que, en estado estable,

$$\bar{Q} = \frac{\bar{H}_1 - \bar{H}_2}{R_1} \qquad (7\text{-}8)$$

Después de que cambios pequeños ocurran, tenemos

$$\bar{Q} + q_1 = \frac{(\bar{H}_1 + h_1) - (\bar{H}_2 + h_2)}{R_1}$$

Sustituyendo la ecuación (7-8) en la última ecuación, tenemos que:

$$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1}$$

Usando los símbolos definidos en la figura 7-5, podemos obtener las siguientes cuatro ecuaciones para el sistema:

$$\frac{h_1 - h_2}{R_1} = q_1 \qquad (7\text{-}9)$$

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = q - q_1 \qquad (7\text{-}10)$$

$$\frac{h_2}{R_2} = q_2 \qquad (7\text{-}11)$$

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \qquad (7\text{-}12)$$

Si q se considera la entrada y q_2 la salida, la función de transferencia del sistema puede ser obtenida eliminando q_1, h_1 y h_2 de la ecuación (7-9) a través de la ecuación (7-12), como resultado queda:

$$\frac{Q_2(s)}{Q(s)} = \frac{1}{R_1C_1R_2C_2s^2 + (R_1C_1 + R_2C_2 + R_2C_1)s + 1} \qquad (7\text{-}13)$$

7-4 LINEALIZACION DE SISTEMAS NO LINEALES

El proceso de linealización de sistemas no lineales es importante, por la linealización de ecuaciones no lineales, es posible aplicar numerosos métodos de análisis lineares que nos darán información acerca de esos sistemas. El procedimiento de linealización presentado aquí es basado en la expansión de la función no linear en una serie de Taylor sobre el punto de operación y la conservación de solo el término lineal.

Linealización de $z = f(x)$ sobre un punto $(\bar{x}, \bar{z})$. Considere un sistema no lineal cuya entrada es x y su salida es z. La relación entre z y x, puede ser escrita como:

$$z = f(x) \qquad (7\text{-}21)$$

En la condición de operación normal corresponde a un punto $(\bar{x}, \bar{z})$, entonces la ecuación (7-21) puede ser expandida en una serie de Taylor sobre ese punto como se indica a continuación:

$$z = f(x) = f(\bar{x}) + \frac{df}{dx}(x - \bar{x}) + \frac{1}{2!}\frac{d^2f}{dx^2}(x - \bar{x})^2 + \cdots \qquad (7\text{-}22)$$

Las derivadas presentadas, son evaluadas en el punto de operación, $x = \bar{x}, z = \bar{z}$. Si la variación $x - \bar{x}$ es pequeña, podemos ignorar los términos de mayor orden en $x - \bar{x}$. Note que $\bar{z} = f(\bar{x})$, podemos escribir la ecuación (7-22) como:

$$z - \bar{z} = a(x - \bar{x}) \qquad (7-23)$$

Donde

$$a = \left.\frac{df}{dx}\right|_{x=\bar{x}}$$

La ecuación (7-23) indica que $z - \bar{z}$ es proporcional a $x - \bar{x}$. La ecuación es un modelo matemático lineal para el sistema no lineal dado en la ecuación (7-21) cerca al punto de operación $x = \bar{x}, z = \bar{z}$.

Linealización de $z = f(x, y)$ sobre un punto $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$. Ahora, considere la siguiente función de un sistema no lineal:

$$z = f(x, y) \qquad (7\text{-}24)$$

Apéndice N Documento de información complementaria 27-28

Para obtener un modelo matemático de este sistema no lineal en el punto de operación $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$, expandimos la ecuación (7-24) en una serie de Taylor en ese punto.

$$z = f(\bar{x}, \bar{y}) + \left[\frac{\partial f}{\partial x}(x - \bar{x}) + \frac{\partial f}{\partial y}(y - \bar{y})\right] + \frac{1}{2!}\left[\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(x - \bar{x})^2 + 2\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(x - \bar{x})(y - \bar{y}) + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(y - \bar{y})^2\right] + \cdots$$

Donde las derivadas parciales son evaluadas en el punto de operación, $x = \bar{x}, y = \bar{y}, z = \bar{z}$. Cerca a este punto, los términos de mayor orden pueden ser ignorados. Obtenemos que:

$$z - \bar{z} = a(x - \bar{x}) + b(y - \bar{y})$$

Donde:

$$a = \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x=\bar{x}, y=\bar{y}}$$

$$b = \left.\frac{\partial f}{\partial y}\right|_{x=\bar{x}, y=\bar{y}}$$

Es importante recordar que, en el presente proceso de linealización, las desviaciones de las variables desde su condición de operación deben ser suficientemente pequeño. De otra forma, el procedimiento no aplica.

7-5 MODELAMIENTO MATEMATICO DE SISTEMAS HIDRAULICOS

El uso generalizado de circuitos hidráulicos en aplicaciones de máquinas herramienta, sistemas de control de aeronaves y operaciones similares se debe a factores como la fiabilidad; la precisión, la flexibilidad, la elevada relación potencia-peso, la rapidez de arranque, parada y de arranque, parada e inversión con suavidad y precisión; y la sencillez de funcionamiento.

Modelamiento matemático de un servomotor hidráulico: En la obtención del modelo matemático del servomotor hidráulico mostrado en la figura 7-10, asumimos que el fluido es incompresible y la fuerza de inercia del pistón y la carga es despreciable en comparación con la fuerza hidráulica en el pistón de potencia. Como se da en la ecuación (7-26), el caudal del aceite es proporcional al desplazamiento de la válvula.

La operación de este equipo se da como sigue: si una entrada x mueve la válvula pilotada a la derecha, el puerto 1 es descubierto, y aceite a alta presión entra al lado derecho del pistón de potencia. Ya que el puerto 2 es conectado al puerto de drenaje, el aceite en el lado izquierdo del pistón retorna al drenaje. El aceite que fluye dentro del cilindro de potencia está a alta presión; el aceite que fluye fuera del cilindro de potencia hacia el drenaje es a baja presión. La diferencia de presión resultante en ambos lados del pistón causará que se mueva hacia la izquierda.

Note que la rata de flujo de aceite, q_1, en el tiempo dt es igual al desplazamiento del pistón dy veces el área del pistón A por la densidad del aceite, ρ. Esto es:

$$A\rho\, dy = q_1\, dt \qquad (7\text{-}27)$$

Como se da en la ecuación (7-26), el flujo del aceite es:

$$q_1 = K_1 x \qquad (7\text{-}28)$$

Donde K_1 es una constante de proporcionalidad. De las ecuaciones (7-27) y (7-28), obtenemos:

$$A\rho \frac{dy}{dt} = K_1 x$$

La transformada de Laplace de esta última ecuación, asumiendo condiciones iniciales igual a cero, nos da:

$$A\rho s\, Y(s) = K_1 X(s)$$

O

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_1}{A\rho s} = \frac{K}{s} \qquad (7\text{-}29)$$

Donde $K = K_1/A\rho s$. Entonces el servomotor mostrado en la figura 7-10 actúa como un controlador integral.

Reguladores: El regulador mostrado en la figura 7-11 (a) actúa como un elemento diferenciador. Suponiendo que se introduce un desplazamiento escalón (step) en el pistón en la posición x. Entonces, el desplazamiento y se convierte momentáneamente igual a x. Las curvas de x con respecto a t y y con respecto a t, se muestran en la figura 7-11 (b).

Figura 11 (a) Regulador; (b) gráfico del cambio en escalón en x y su correspondiente cambio en y con respecto a t.

Derivemos la función de transferencia entre el desplazamiento y y el desplazamiento x. Se definen las presiones en el lado derecho y lado izquierdo del pistón como P_1 y P_2, respectivamente. Suponga que la fuerza de inercia es despreciable. Entonces la fuerza que actúa en el pistón debe balancear la fuerza del resorte. Entonces,

$$A(P_1 - P_2) = ky$$

Donde

$A = área\ del\ pistón, in^2$
$k = constante\ del\ resorte, lb_f/in$

El caudal q a través de la restricción es dado por:

Apéndice O2 Documento de información complementaria 29-30

$$q = \frac{P_1 - P_2}{R}$$

Donde R es la resistencia del flujo en la restricción.

Ya que el flujo a través de la restricción durante dt segundos es igual al cambio en la masa de aceite al lado izquierdo del pistón durante el mismo tiempo dt, obtenemos:

$$q\,dt = A\rho(dx - dy) \qquad (7\text{-}30)$$

Donde ρ = densidad, y es constante. La ecuación anterior puede ser reescrita como:

$$\frac{dx}{dt} - \frac{dy}{dt} = \frac{q}{A\rho} = \frac{P_1 - P_2}{RA\rho} = \frac{ky}{RA^2\rho}$$

O

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dt} + \frac{ky}{RA^2\rho}$$

Tomando la transformada de Laplace en está ultima condición, asumiendo condiciones iniciales igual a cero, obtenemos:

$$sX(s) = sY(s) + \frac{k}{RA^2\rho}Y(s)$$

La función de transferencia del sistema sería:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{s}{s + \frac{k}{RA^2\rho}}$$

Si definimos $RA^2\rho/k = T$. Entonces:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{Ts}{Ts + 1} \qquad (7\text{-}31)$$

En capítulos anteriores, frecuentemente tratábamos los sistemas resorte-amortiguador como se muestra en la figura 7-12, que es equivalente al sistema mostrado en la figura 7-11(a).

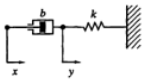


Figura 7-12 Sistema resorte-amortiguador.

El modelo matemático del sistema mostrado en la figura 7-12 es:

$$b(\dot{x} - \dot{y}) = ky$$

O

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{bs}{bs + k} = \frac{\frac{b}{k}s}{\frac{b}{k}s + 1} = \frac{Ts}{Ts + 1} \qquad (7\text{-}32)$$

Donde b/k es la constante de tiempo T.

Nótese que, dado que $T = RA^2\rho/k$ en la ecuación (7-31) y $T = b/k$ en la ecuación (7-32), podemos hallar el coeficiente de fricción viscosa b siendo igual a:

$$b = RA^2\rho$$

Tenga en cuenta que la resistencia R depende de la viscosidad del aceite.

7-6 MODELAMIENTO MATEMATICO DE SISTEMAS TERMICOS

Los sistemas térmicos pueden ser analizados en términos de resistencia y capacitancia, aunque no puedan ser representados con precisión como parámetros globales, ya que suelen ser distribuidos en toda la sustancia. Sin embargo, para simplificar el análisis, supondremos que un sistema térmico puede representarse mediante un modelo de parámetros fijos, que las sustancias caracterizadas por la resistencia al flujo de calor tienen una capacitancia térmica despreciable, y que las sustancias caracterizadas por la capacitancia térmica tienen una resistencia despreciable al flujo de calor.

Transferencia de calor por conducción, convección y radiación: El calor puede fluir de una sustancia a otra en tres formas distintas: conducción, convección y radiación. La mayoría de los procesos térmicos en sistemas de control no incluyen transferencia de calor por radiación y pueden ser descritos en términos de la resistencia térmica y capacitancia térmica.

Para convección o conducción,

$$q = k\Delta\theta$$

Donde

$q = flujo\ térmico, kcals/s$
$\Delta\theta = diferencia\ de\ temperatura, °C$
$K = coeficiente, kcals/s\ °C$

El coeficiente K es dado por:

$$K = \frac{kA}{\Delta X} \quad para\ conducción$$
$$K = HA \quad para\ convección$$

Donde

$k = conductividad\ térmica, kcal/m\ s°C$
$A = area\ normal\ flujo\ térmico$
$\Delta X = espesor\ del\ conductor, m$
$H = coeficiente\ de\ convección, kcal/m^2 s°C$

Apéndice P Documento de información complementaria 31-32

Resistencia y capacitancia térmica: La resistencia térmica R para transferencia de calor entre dos sustancia puede ser definida como sigue:

$$R = \frac{cambio\ en\ la\ temperatura \quad °C}{cambio\ en\ el\ flujo\ térmico\ kcal/s}$$

Entonces, resistencia para conducción o convección está dada por:

$$R = \frac{d(\Delta\theta)}{dq} = \frac{1}{K}$$

Ya que los coeficientes de conductividad y conducción térmicos son prácticamente constantes, la resistencia térmica para ambos es constante. La capacitancia térmica C es definida como:

$$C = \frac{cambio\ en\ el\ calor\ almacenado\ kcal}{cambio\ en\ la\ temperatura \quad °C}$$

La capacitancia térmica es el producto del calor especifico y la masa del material, entonces la capacitancia puede ser escrita como:

$$C = mc$$

Donde:

$m = masa\ de\ la\ sustancia\ considerada, kg$
$c = calor\ especifico\ de\ la\ sustancia, kcal/kg°C$

Modelamiento matemático de un sistema térmico: sistema de termómetros. Considere el sistema de termómetro de vidrio con mercurio mostrado en la figura 7-13. Supongamos que el termómetro tiene una temperatura uniforme $\overline{\Theta}°C$ (temperatura ambiente) y que en $t = 0$ es sumergido en un maño de temperatura $\overline{\Theta} + \theta_b °C$, donde θ_b es la temperatura del baño, medido desde la temperatura ambiente. Denotemos la temperatura instantánea del termómetro como $\overline{\Theta} + \theta °C$, entonces θ es el cambio en la temperatura del termómetro, satisfaciendo la condición que $\theta(0) = 0$. La dinámica de este sistema puede ser caracterizada en términos de la resistencia térmica, la resistencia del flujo térmico y la capacitancia térmica.

La ecuación de balance de calor es:

$$C\,d\theta = q\,dt \qquad (7\text{-}33)$$

Ya que la resistencia térmica puede ser escrita como

$$R = \frac{d(\Delta\theta)}{dq} = \frac{\Delta\theta}{q}$$

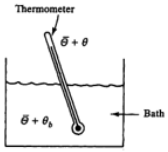


Figura 7-13 Sistema de termómetro de vidrio con mercurio.

El flujo de calor puede ser dado en términos de R, como:

$$q = \frac{(\overline{\Theta} + \theta_b) - (\overline{\Theta} + \theta)}{R} = \frac{\theta_b - \theta}{R}$$

Consecuentemente, podríamos reescribir la ecuación (7-33) como:

$$C\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_b - \theta}{R}$$

O

$$RC\frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_b$$

Donde RC es la constante del tiempo. Este es modelo matemático del sistema de termómetro, que es análogo al sistema mostrado a la figura 7-4(a), al sistema mecánico con la figura 7-4(b), el sistema de nivel de líquido representado en la figura 7-3(a) y al sistema de presión neumática mostrado en la figura 7-7(a).