

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Módulo de aprendizaje autónomo basado en simulaciones en Aspen-HYSYS para el estudio de intercambiadores de calor

María Alejandra Anaya Gómez

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniera Química

Modalidad Práctica en Docencia

Directora

Viviana Sánchez Torres

Ph.D. Ingeniería Química

Codirector

Iván Darío Ordoñez Sepúlveda

Ingeniero Químico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2023

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por darme fuerzas, valentía y resiliencia para culminar esta etapa de mi vida.

Solo él sabe lo difícil que fue para mí, pero siempre me mantuvo rodeada de personas que me enseñaron a vivir, abrir mi mente a nuevas experiencias durante todo este proceso y a vencer mis miedos.

A mis padres Bibiana Gómez Toloza y Teófilo Anaya Coronel que siempre estuvieron allí apoyándome, creyendo en mí, brindándome su amor, aconsejándome para no desistir y enseñándome que todas las cosas que haga en la vida hay que hacerlas con amor.

A mi hermano Gabriel Andrés Anaya por acompañarme en el ciclo básico de mi carrera, por compartir sus conocimientos y por su apoyo incondicional desde la distancia.

A mis hermanos Jesús David Anaya y Andrea Bibiana Anaya por acompañarme en las noches de traspasnocho, haciendo mis espacios de estudios más agradable con sus charlas y chistes.

Infinitas gracias al programa SEA-FPC de la Universidad Industrial de Santander, especialmente a la doctora Élsida Ramírez Sierra a quien respeto, admiro y quiero mucho por ayudarme en los momentos más difíciles de mi vida, por estar pendiente de mí y nunca dejarme sola en mi proceso en la universidad, por demostrarme que puedo hacer las cosas y llegar muy lejos, por permitirme conocer a su equipo de trabajo y compartir con cada una de ellas a quien también les doy gracias por ser parte de mi vida y aportar su grano de arena en mi fortalecimiento y crecimiento profesional y personal.

A los profesores Viviana Sánchez y Iván Ordoñez doy gracias por darme la oportunidad de trabajar con ustedes, gracias por su gran compromiso e interés, por sus conocimientos, por sus aportes valiosos y orientación como directora y codirector en el desarrollo del proyecto de grado.

Al Ingeniero Químico UIS Francisco Torres por la ayuda voluntaria que me dio en el diseño de las imágenes y animaciones en el programa Blender 3D.

Finalmente, a los profesores Duban García, Yuly López, Ronald Mercado, Giovanni Morales y los estudiantes que hicieron su aporte valioso para culminar la etapa final de mi proyecto de grado.

María Alejandra Anaya Gómez

Tabla de contenido

Introducción	10
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2. Marco conceptual	13
2.1 Los simuladores, un mecanismo de la innovación tecnológica en educación	13
2.2 Apoyo de los simuladores en procesos de enseñanza-aprendizaje	14
3. Metodología	15
3.1 Etapa 1: Planeación de la herramienta didáctica virtual	16
3.1.1 Necesidad educativa	16
3.1.2 Revisión bibliográfica de diseño de herramientas virtuales	16
3.1.3 Estructura y contenido de la herramienta	16
3.1.4 Selección de herramientas TIC	17
3.2 Etapa 2. Desarrollo del contenido teórico de la herramienta	17
3.2.1 Revisión bibliográfica de los temas	17
3.3 Etapa 3: Diseño y montaje de la herramienta didáctica	18
3.3.1 Diseño de la interfaz	19
3.3.2. Contenido teórico	19
3.3.3 Contenido multimedia	20
3.3.4 Contenido evaluativo	20
3.4 Prueba y ajuste	20
3.4.1. Prueba piloto	21

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

4. Resultados	21
4.1 Planeación de la herramienta educativa	21
4.1.1 Necesidad educativa	21
4.1.2 Selección de herramientas TIC	22
4.1.3 Estructura y contenido de la herramienta	24
4.2 Diseño y montaje de la herramienta didáctica	26
4.2.1 Diseño de la interfaz	26
4.2.2 Contenido teórico, multimedia y evaluativo	29
4.3 Prueba y ajustes	34
4.3.1 Prueba piloto	35
4.3.1 Preguntas de selección múltiple con respuesta abierta	36
4.3.2 Prueba final	36
5. Conclusiones	39
6. Recomendaciones	40
Referencias bibliográficas	41
Apéndice	46

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Herramientas TIC para el diseño de la herramienta didáctica</i>	23
Tabla 2. <i>Respuesta de la encuesta de satisfacción del módulo 2</i>	46
Tabla 3. <i>Respuesta de la encuesta de satisfacción del Módulo de Aprendizaje</i>	48

Lista de figuras

Figura 1. <i>Etapas metodológicas para el diseño y montaje de la herramienta didáctica</i>	16
Figura 2. <i>Portada de la herramienta didáctica virtual</i>	27
Figura 3. <i>Menú principal de la herramienta didáctica</i>	28
Figura 4. <i>Nomenclatura de los iconos interactivos</i>	28
Figura 5. <i>Tabla de contenido del módulo 1</i>	29
Figura 6. <i>Fundamentos. Primer ítem de la tabla de contenido</i>	30
Figura 7. <i>Clasificación. Intercambiador de calor de carcasa y tubos</i>	30
Figura 8. <i>Términos del glosario en la diapositiva Temperatura de diseño</i>	31
Figura 9. <i>Quiz teórico</i>	32
Figura 10 <i>Ejercicios en HYSYS</i>	33
Figura 11. <i>Ejercicios propuestos</i>	33
Figura 12. <i>Encuesta de satisfacción</i>	34

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Lista de apéndices

Apendice A. <i>Resultado de la encuesta de satisfacción</i>	46
Apendice B. <i>Encuesta de satisfacción sobre el módulo de aprendizaje de intercambiadores de calor en Aspen-Hysys.....</i>	50
Apendice C. <i>Encuesta de satisfacción sobre el módulo de aprendizaje de intercambiadores de calor en Aspen-Hysys. Prueba final.....</i>	55

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Resumen

Título: Módulo de aprendizaje autónomo basado en simulaciones en aspen-hysys para el estudio de intercambiadores de calor*

Autor: María Alejandra Anaya Gómez**

Palabras clave: Intercambiadores de calor, simulador Aspen-HYSYS, transferencia de calor, diseño, aprendizaje autónomo.

Descripción: Se desarrolló una herramienta didáctica con la finalidad de proponer nuevos métodos y estrategias para potenciar el aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor e implementarla como una herramienta adicional al curso de Fenómenos de Transporte II ya que proporciona a los alumnos una fuente de información, estimuladora y facilitadora del aprendizaje autónomo de los conceptos básicos y heurísticos para el diseño de intercambiadores de calor, especialmente los de carcasa y tubos, mediante el uso del simulador Aspen-HYSYS.

La herramienta está dividida en tres módulos, cada uno presenta una interfaz agradable al usuario con aplicaciones multimedia (imágenes, enlaces: de videos con animaciones, de los ejercicios resueltos en Aspen-HYSYS soportados en documentos escritos y videos, de los ejercicios propuestos con sus respectivas respuestas y quices).

Para su planeación se revisaron alternativas sobre el desarrollo de herramientas virtuales, con lo cual se propusieron los temas, ejercicios, quices y la organización del material en un ambiente de autoaprendizaje.

Inicialmente, el módulo 2 fue evaluado a través de una encuesta de satisfacción mediante un enlace de acceso a la herramienta enviado a los correos de los estudiantes del curso de Fenómenos de Transporte II del periodo académico 2022-1 para depurar y conocer su impacto en los estudiantes. Luego se aplicó una prueba final con el material completo a los estudiantes de Fenómenos de Transporte II, Control de Procesos Químicos y Análisis de procesos del periodo 2022-2 del programa de Ingeniería Química.

De este proyecto se concluyó que la herramienta es útil y puede complementar las clases presenciales para mejorar y profundizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de intercambiadores de calor.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora: Viviana Sánchez Torres, Ingeniera química, PhD. Codirector: Iván Darío Ordoñez Sepúlveda, Ingeniero Químico.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Abstract

Title: Aspen-HYSYS Simulation-based Self-Learning Module for the Study of Heat Exchangers*

Autor: María Alejandra Anaya Gómez**

Key words: Heat exchangers, Aspen-HYSYS simulator, degrees, heat transfer, design, autonomous learning.

Description: A didactic tool was developed to propose new methods and strategies to enhance the learning of heat exchanger design and implement it as an additional tool to the Transport Phenomena II course, which provide students with a source of information, stimulating and facilitating autonomous learning of the basic concepts and heuristics for the design of heat exchangers, especially shell and tube heat exchangers, using the Aspen-HYSYS simulator.

The tool is divided into three modules and each one presents a user-friendly interface with multimedia applications (images, links of videos with animations of the exercises solved in Aspen-HYSYS supported in written documents and videos of the proposed exercises with their respective answers and quizzes).

For its planning, alternatives for the development of virtual tools were reviewed, which allowed proposing the self-learning environment, the topics, the exercises, the quizzes, and the organization of the material.

Initially, module 2 was evaluated through a satisfaction survey by means of an access link to the tool sent to the e-mails of the students of the Transport Phenomena II course of the 2022-1 academic period to debug and know its impact on the students. Then, a final test with the complete material was applied to the students of Transport Phenomena II, Process Control and Process Analysis the 2022-2 period of the Chemical Engineering program.

From this project it was concluded that the tool is useful and can complement the face-to-face classes to improve and deepen the teaching-learning process of heat exchangers.

* Undergraduate thesis

** Faculty of Physicochemical Engineering. Chemical Engineering School. Director: Viviana Sánchez Torres, Chemical Engineer, PhD. Codirector: Iván Darío Ordoñez Sepúlveda, Chemical Engineer.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Introducción

En la asignatura Fenómenos de Transporte II se estudian los principios físicos fundamentales y modelamiento matemático de procesos de transferencia de calor por convección, lo que implica que el estudiante adquiere conocimientos y habilidades para plantear balances de transferencia de masa y energía y así mismo, aplicarlos para resolver problemas ingenieriles basados en el diseño y operaciones de procesos químicos y físicos.

Los intercambiadores de calor son importantes en la industria, sin embargo, durante el curso de Fenómenos de Transporte II solo se alcanza a estudiar los conceptos básicos sin profundizar en el diseño de detalle. Adicionalmente, hace falta incorporar una herramienta didáctica que incluya el uso de simuladores de procesos para profundizar los conocimientos teóricos adquiridos durante su formalidad académica, así como la información heurística disponible en la literatura. Por consiguiente, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo mejorar el proceso de enseñanza en el estudio de intercambiadores de calor utilizando una metodología didáctica virtual basado en simuladores de procesos químicos?

Con el desarrollo tecnológico, la educación ha sufrido adaptaciones para permitir la implementación de las llamadas TIC (tecnologías de la información y comunicación), y con ello la llegada de lo que se conoce como sistemas de generación de conocimiento, suscitando la permanencia de la educación (Díaz, García, & Neme, 2015). La docencia, al utilizar las nuevas tecnologías en la educación, incluyendo simuladores como herramienta de aprendizaje, captando el interés y atención de los estudiantes en el desarrollo de las actividades, fomentando un ambiente de aprendizaje práctico y autónomo. (Contreras & Carreño, 2012).

La elaboración de una herramienta didáctica para la asignatura de Fenómenos de Transporte II se plantea buscando responder a las necesidades anteriormente mencionadas, de

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

manera que se constituya en una herramienta complementaria del curso que fortalezca en los estudiantes los procesos de enseñanza-aprendizaje autónomo. El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una herramienta educativa enfocada en los intercambiadores de calor mediante el uso del simulador Aspen-HYSYS. La herramienta se encuentra dividida en tres módulos, cada uno cuenta con una interfaz agradable al usuario y con aplicaciones multimedia tales como imágenes, animaciones, videos con ejercicios resueltos paso a paso en Aspen-HYSYS, que a su vez incluyen documentos escritos de soporte, y ejercicios propuestos.

Adicionalmente, cada módulo cuenta con un quiz interactivo, que le permite al estudiante evaluar su aprendizaje e identificar los errores cometidos. También, cuenta con una encuesta de satisfacción de la herramienta elaborada la cual permite evaluar y visualizar el impacto que esta tuvo en los estudiantes.

Para la aplicación del “Módulo de aprendizaje autónomo de intercambiadores de calor” es fundamental que los estudiantes demuestren interés en su uso y además que el profesor implemente la herramienta como un material auxiliar y que se cuente con una sala de cómputo en la universidad para acceder al simulador Aspen-HYSYS.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Desarrollar una herramienta educativa enfocada en los intercambiadores de calor que estimule y fortalezca el aprendizaje autónomo a través del uso del simulador ASPEN-HYSYS.

1.2 Objetivos específicos

- Crear una herramienta didáctica virtual con una interfaz amigable para el usuario, con acceso a diferentes módulos que contendrán información relevante, ejercicios ejecutados con el simulador ASPEN HYSYS que se acompañan de videos tutoriales explicativos y evaluaciones de los ejercicios propuestos.
- Seleccionar casos de estudio sobre los distintos tipos de intercambiadores de calor más usados industrialmente.
- Implementar conceptos y ejercicios tanto de simulación como de diseño de intercambiadores de carcasa y tubo con y sin cambio de fase.
- Proponer ejercicios en ASPEN HYSYS de simulación y/o diseño detallado de intercambiadores de carcasa y tubo teniendo en cuenta parámetros como el factor de ensuciamiento, efecto en la caída de presión, número de tubos, configuración y disposición interna de los tubos y aplicación de los códigos TEMA.
- Evaluar mediante un cuestionario interactivo la herramienta didáctica para conocer su impacto en los estudiantes de ingeniería química que ya vieron la asignatura “Fenómenos de transporte II”.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

1. Marco conceptual

Hoy, estamos en la era acelerada donde las telecomunicaciones y la tecnología de la información son la integración del mundo. Además, con su creciente disponibilidad están creando una nueva relación entre el proceso de enseñanza y la forma en que los estudiantes aprenden, revolucionando la forma en que se lleva a cabo este proceso. La simulación es parte de la transformación histórica provocada por las nuevas tecnologías de la comunicación, y los avances significativos en los recursos de hardware y software han apoyado la adaptación en el campo de la educación. La simulación juega un papel importante en muchos campos, por ejemplo, en la medicina, la ingeniería o la aviación, y así mismo, cuando se utiliza con fines educativos y de evaluación, puede acelerar el proceso de aprendizaje de los alumnos (Contreras & Carreño, 2012).

2.1 Los simuladores, un mecanismo de la innovación tecnológica en educación

Como todos saben, el progreso tecnológico afecta diferentes áreas de la vida humana, tales como la globalización, la economía internacional, la sociedad del conocimiento, etc., provocando cambios en todas las áreas, incluida la educación. Está claro que “vivimos en una época en la que el uso de las tecnologías informáticas y de las telecomunicaciones en los entornos educativos exige cada vez más un cambio importante en la práctica docente”. Uno de los progresos tecnológicos es la creación y uso de simuladores que colaboran en diversas áreas o dominios de la vida cotidiana, tales como (Contreras & Carreño, 2012):

- Aprendizaje experimental y especulativo
- Permite practicar el aprendizaje.
- Proporcionan un entorno de aprendizaje abierto basado en modelos realistas.
- Alto nivel de interactividad.
- Están diseñados para enseñar un contenido determinado.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- Los usuarios tratan de comprender las características de los fenómenos, cómo controlarlos o qué hacer en diferentes situaciones.
- Promueven situaciones interesantes que sirven de contexto al aprendizaje sobre un tema en particular.
- El usuario es un ser activo, un constructor que aprende de su propia experiencia.

Si se implementara el uso de los simuladores en el entorno educativo, estos permitirían una transferencia de conocimiento colaborativa e interactiva, ya que los estudiantes participarían activamente en el proceso, en lugar de la actitud un tanto pasiva de las clases magistrales, y además se beneficiarían de una serie de ventajas como (Contreras & Carreño, 2012):

- Eliminan riesgos que se presentan en la interacción con la realidad tanto para los estudiantes como para los equipos.
- Producen retroalimentación rápida debido a los resultados inmediatos ocasionados por los cambios introducidos en ciertos parámetros de la simulación, es decir, la posibilidad de modificar el valor de la(s) variable(s) para inferir el comportamiento del modelo.
- Involucran al estudiante en su aprendizaje, ya que éste tendrá que manejar el simulador, observar los resultados y actuar en consecuencia.
- Los simuladores pueden resolver la carencia de experiencia en el fenómeno de estudio que las teorías científicas buscan explicar.

2.2 Apoyo de los simuladores en procesos de enseñanza-aprendizaje

Una de las mayores preocupaciones en educación en este momento es cómo enseñar y qué herramientas de apoyo están disponibles para los docentes. Hoy, con el avance de la tecnología, muchos elementos de hardware y software están interconectados para transmitir y proporcionar información de retroalimentación. El desafío que plantea el avance tecnológico es el uso de

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

simuladores que permitan la creación de un entorno educativo con recursos prácticos de hardware y software, configurados con estándares técnicos adecuados para cumplir con los siguientes objetivos (Contreras & Carreño, 2012):

- Facilitar en el proceso de enseñanza-aprendizaje habilidades a los estudiantes de tal forma que sean compatibles con el entorno de trabajo, en la realización de proyectos de investigación orientados a la realidad.
- Poseer medios de autoaprendizaje y estrategias de automotivación, que permitan a los alumnos encontrar las respuestas a los cuestionarios que surgen del autoestudio.
- Crear interacciones entre alumno-maestro y alumno-alumno a través de simulaciones interactivas para lograr una retroalimentación que enriquezca y complete el proceso educativo.
- Flexibilidad en los horarios de trabajo educativo mediante el uso de simuladores para la práctica libre.

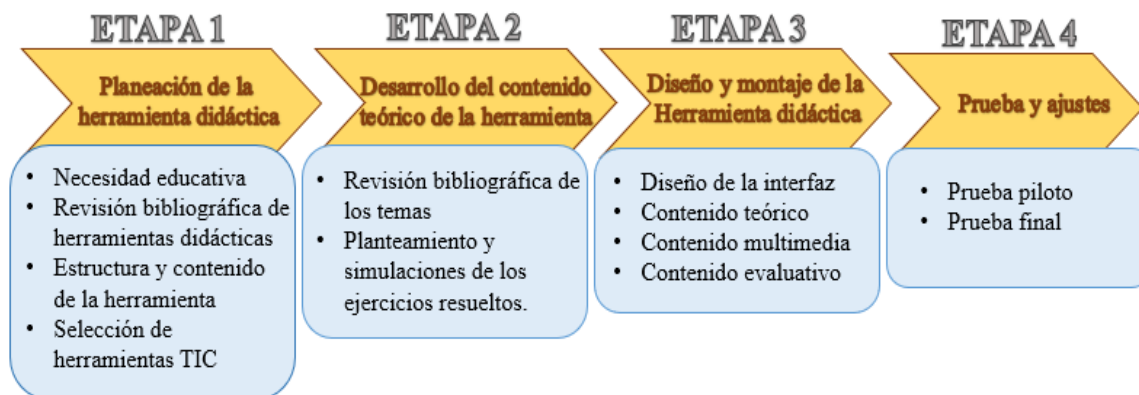
2. Metodología

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados para este proyecto se llevaron a cabo las siguientes etapas (Figura 1)

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Figura 1

Etapas metodológicas para el diseño y montaje de la herramienta didáctica



3.1 Etapa 1: Planeación de la herramienta didáctica virtual

3.1.1 Necesidad educativa

Análisis de las falencias que presentan los estudiantes en el tema de intercambiadores de calor y como favorecería incluir una herramienta didáctica en el proceso enseñanza-aprendizaje sobre el tema. Esta información se obtuvo directamente a través de una reunión con la profesora de fenómenos II y el profesor de control de procesos.

3.1.2 Revisión bibliográfica de diseño de herramientas virtuales

Revisión de alternativas sobre el desarrollo de herramientas virtuales mediante una búsqueda bibliográfica de proyecto de grados en las bases de datos de la UIS, proyectos de grados de otras universidades, artículos obtenidos de Google académico y páginas web que hayan realizado herramientas educativas virtuales.

3.1.3 Estructura y contenido de la herramienta

Los temas definidos en la herramienta virtual se basaron en la necesidad educativa, los contenidos recibidos durante el curso y la heurística existente en la literatura.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

El contenido se estructura en tres módulos temáticos iniciando con contenidos generales hasta temas más específicos, ya que los temas a tratar presentan cierta independencia.

3.1.4 Selección de herramientas TIC

Se seleccionan aquellos programas que permitan presentar los temas en una interfaz amigable con el usuario, que sean de fácil manejo y acceso, así mismo, permita incluir recursos multimedia (videos, animaciones, textos, etc.) y hacer modificaciones para mejorar su diseño y/o contenido.

3.2 Etapa 2. Desarrollo del contenido teórico de la herramienta

En esta etapa se organizan y se construyen los documentos en Microsoft Word de todo el contenido teórico para cada módulo teniendo presente la necesidad educativa.

3.2.1 Revisión bibliográfica de los temas

Las fuentes consultadas fueron de libros, manuales, artículos de Google académico, tesis de grado de otras universidades y páginas web.

3.2.1.1 Módulo 1. Fundamentos sobre intercambiadores de calor

- Revisión sobre tipos de intercambiadores de calor, clasificación según su construcción, mecanismos de transferencia de calor, disposición de los fluidos, el número de pasos y la fase de los fluidos.
- Búsqueda de las ventajas y desventajas de los tipos de intercambiadores de calor.
- Elaboración de un cuadro donde se plasman las características y condiciones de operación de los equipos en la industria basado en los criterios de selección para un intercambiador de calor.
- Revisión conceptual del simulador Aspen HYSYS enfocado en intercambiadores de calor específicamente los calentadores.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

3.2.1.2 Modulo 2. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos

- Búsqueda de información conceptual sobre intercambiadores de calor de carcasa y tubo con y sin cambio de fase.
- Revisión conceptual del simulador Aspen HYSYS enfocado en intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

3.2.1.3 Módulo 3. Diseño de intercambiadores de calor de carcasa y tubos

- Búsqueda de ecuaciones de diseño, así como heurísticas y códigos TEMA teniendo en cuenta los diferentes parámetros para el diseño detallado de los intercambiadores de calor carcasa y tubos.
- Revisión conceptual del simulador Aspen HYSYS para el diseño de intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

3.2.1.4 Planteamiento y simulaciones de los ejercicios resueltos y propuestos

- Búsqueda de ejercicios con datos reales de las variables de operación, las variables de diseño (datasheet de los equipos, etc.) y composición de las sustancias.
- Planteamiento de los ejercicios para cada módulo.
- Simulaciones de los ejercicios.

3.3 Etapa 3: Diseño y montaje de la herramienta didáctica

En esta etapa se construyen y se ensamblan todos los elementos que conforman la herramienta los cuales son, el contenido teórico, el contenido de multimedia, botones interactivos, links de acceso a información, quices, videos y encuesta en línea.

La etapa de diseño consta de los siguientes pasos:

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

3.3.1 *Diseño de la interfaz*

Se utilizó la plataforma en línea Genially con el plan gratuito estudiantil. En la interfaz de la herramienta didáctica se incluyen los siguientes elementos:

- Portada: Presentación de la herramienta
- Menú principal: Muestra la ruta de acceso a los 3 módulos
- Nomenclatura de los íconos interactivos: Incluye los iconos presentes en los módulos con información adicional
- Tablas de contenido: Muestra la estructura del contenido de cada módulo.
- Etiquetas y vínculos de navegación: Se crearon etiquetas de navegación en cada diapositiva para direccionar la exploración de los temas de acuerdo con la estructura del contenido. Adicionalmente, se crearon enlaces de navegación no lineal en algunos elementos de las diapositivas (títulos, iconos)

3.3.2. *Contenido teórico*

Se empleó un lenguaje sencillo, claro y de fácil entendimiento para el estudiante. Para seleccionar los temas relevantes y mostrarlos en un ambiente de aprendizaje agradable e interactivo se realizaron los siguientes pasos:

- Diapositivas con exceso de información se le adicionaron iconos interactivos.
- Se identificaron y se especificaron los términos de las ecuaciones con sus respectivas dimensiones y significados para la nomenclatura.
- Se explicaron los grados de libertad con la ayuda de un esquema de un intercambiador y con la regla de colores que maneja el simulador HYSYS.
- Se realizó un glosario con algunos de los términos contenidos en los módulos.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- Se crearon documentos soporte, los cuales fueron convertidos en formatos PDF y enlazados con algunos elementos de las diapositivas.

3.3.3 Contenido multimedia

Se elaboraron recursos que hacen la herramienta sea más agradable y motive al aprendizaje

- **Imágenes:** Se crearon para complementar determinados temas, algunas fueron creadas en Microsoft Power Point y en Blender 3D, otras fueron sacadas de internet (con su referencia) y adaptadas al español. Las imágenes que no tienen referencia bibliográfica fueron obtenidas de la galería Genially
- **Gráficas:** Se crearon para mejorar la explicación de algunos contenidos. Se creó en Microsoft Power Point.
- **Animación:** Se creó para visualizar las partes y estructura interna del intercambiador de carcasa y tubos. Se creó en Blender 3D.
- **Videos:** Se emplearon para la explicación de las simulaciones realizadas en Aspen HYSYS. Los videos fueron grabados en Zoom y fueron editados en CapCut.

3.3.4 Contenido evaluativo

- **Quices:** Se crearon en la sección de gamificación del Genially. Se plantearon preguntas de acuerdo con el contenido teórico.
- **Encuestas en línea:** Se crearon en la plataforma de Formularios de Google. Se hicieron con el fin de evaluar la herramienta educativa.

3.4 Prueba y ajuste

Durante todo el proceso se revisó con los directores de proyecto de grado que no hubiera errores en el contenido temático, contenido multimedia y se verificó el funcionamiento de todos los elementos interactivos (enlaces, vínculos y etiquetas).

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

3.4.1. Prueba piloto

Se realizó una prueba con 90 estudiantes del curso de Fenómenos de Transporte II del periodo académico 2022-1. Se hizo una presentación de la herramienta en clase y luego los estudiantes exploraron una parte de la herramienta como trabajo independiente.

Esta prueba se hizo con el fin de observar el impacto generado por la herramienta como material de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos. Adicionalmente se tuvieron en cuenta las sugerencias hechas por los estudiantes a través de la encuesta de satisfacción en línea para mejorar el diseño y contenido de la herramienta para la prueba final.

3.4.2. Prueba final

Se hizo la evaluación final con 115 estudiantes pertenecientes a los cursos de Fenómenos de Transporte II, Control de Procesos y Análisis de Procesos del periodo académico del 2022-2. En esta prueba final se pudo evaluar el impacto de la herramienta didáctica como material de apoyo para reforzar el aprendizaje sobre intercambiadores de calor en los estudiantes.

3. Resultados

A continuación, se describen y analizan los resultados obtenidos de las etapas metodológicas descritas anteriormente.

4.1 Planeación de la herramienta educativa

4.1.1 Necesidad educativa

Con los aportes realizados por los docentes, se identificaron las falencias que presentan los estudiantes de ingeniería química en el diseño de detalle de intercambiadores de calor.

- No se cuenta con el tiempo disponible para cubrir el tema completamente.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- Los estudiantes no aprovechan las fuentes de información disponibles en la universidad, se conforman con lo visto en clase.
- Ausencia de herramientas didácticas que incluyan el uso de simuladores de procesos que faciliten y motiven al estudiante en el proceso la enseñanza y aprendizaje autónomo.
- Los estudiantes no tienen un acercamiento con el simulador Aspen HYSYS.

Por lo anterior, es necesario incorporar una herramienta educativa como material de apoyo para las clases presenciales de Fenómenos de Transporte II.

4.1.2 Selección de herramientas TIC

Con base en la revisión bibliográfica de diseño de herramientas educativas virtuales y asistencia a algunas presentaciones de tesis en modalidad docente se seleccionaron los siguientes programas (**Tabla 1**). Se hace hincapié en los programas Genially y Aspen HYSYS ya que se seleccionaron para el diseño de la herramienta didáctica y simulación de los ejercicios respectivamente.

Genially fue escogido por las siguientes razones: es gratuito, se accede fácilmente a través de un enlace y se puede compartir, es muy didáctico e interactivo, se pueden incorporar elementos multimedia y modificar en cualquier momento.

Aspen HYSYS fue seleccionado ya que es reconocido mundialmente y es muy utilizado a nivel industrial, por ejemplo, en la industria petrolera. Adicionalmente, la universidad tiene la licencia del simulador de manera que los profesores y estudiantes puedan acceder e implementarla en sus clases.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Tabla 1

Herramientas TIC para el diseño de la herramienta didáctica

Programa	Descripción	Citación
Genially	Plataforma en línea de fácil acceso que permite crear todo tipo de contenidos visuales e interactivos de forma rápida y sencilla. Cuenta con galería de imágenes, múltiples plantillas, botones interactivos, permite crear links, subir audios, videos y permite crear quices	(Genially Web SL, España)
Microsoft Word	Programa que facilita la edición y modificación de documentos escritos eficientemente con la ayuda de las múltiples opciones que ofrece	(Microsoft, EEUU).
Adobe Acrobat	Esta herramienta convierte cualquier documento a PDF sin perder la calidad del contenido.	(Adobe, EEUU).
Microsoft PowerPoint	Programa diseñado para hacer cualquier tipo de presentación, permite animar textos e imágenes y diseñar imágenes con la ayuda de las diferentes opciones que ofrece	(Microsoft, EEUU).
Blender 3D	Programa que permite crear gráficos, animaciones e imágenes fotorrealistas en 2D o 3D	(Blender Foundation, Alemania)
Zoom	Aplicación utilizada para realizar videoconferencias grupales, reuniones individuales. Cuenta con la opción de compartir pantalla y grabar las presentaciones. Esta herramienta se empleó para grabar las simulaciones	(Zoom Video Communications, EEUU).
CapCut	Aplicación de interfaz sencilla e intuitiva que se usa para crear o editar videos. Se utilizo para la edición de los videos explicativos	(ByteDance, China)
Aspen HYSYS	Software desarrollado por Aspen Tech que permite crear simulaciones de plantas y equipos individuales con el fin de analizar el comportamiento y mejorar u optimizar el rendimiento de los equipos. Se emplea para realizar las simulaciones de los ejercicios	(Aspen Tech, EEUU).
Formularios de Google	Permite crear y enviar encuestas en línea de forma sencilla. Recopila la información y da la respuesta en una hoja de cálculo, también es posible visualizarla las respuestas estadísticamente.	(Google, EEUU)

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

4.1.3 Estructura y contenido de la herramienta

El “Módulo de aprendizaje de intercambiadores de calor” se organizó en tres módulos, cada módulo contiene teoría, iconos interactivos con información complementaria, imágenes, gráficos y algunas animaciones que dan soporte al entendimiento de los conceptos. Después de haber realizado una depuración de la información y elegido los conceptos relevantes, el componente teórico de cada módulo es el siguiente:

Módulo 1. Fundamentos sobre intercambiadores de calor

- Definición de un intercambiador de calor
- Mecanismos de transferencia de calor
- Clasificación de los intercambiadores de calor según su construcción e incluye las ventajas y desventajas de los equipos
- Criterios para seleccionar un tipo de intercambiador de calor
- Aplicaciones industriales de los intercambiadores mencionados en la clasificación
- Simulador Aspen HYSYS
- Simulación de un calentador (Heater) y enfriador (Cooler) en Aspen HYSYS
- Grados de libertad de un calentador (Heater) y un enfriador (Cooler)

Modulo 2. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos

- Intercambiador de calor de carcasa y tubos
- Componentes de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos
- Condensadores de carcasa y tubos
- Rehervidor de carcasa y tubos
- Simulador Aspen HYSYS

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- Modelos del intercambiador según Aspen HYSYS
- Grados de libertad de un intercambiador de calor con los modelos Simple End Point y Simple Weighted
- Situaciones especiales durante la simulación de un intercambiador de calor

Módulo 3. Diseño de intercambiadores de calor de carcasa y tubos

- Diseño de un intercambiador de calor
- Dimensionamiento de un intercambiador de calor de carcasa y tubos
- Tubos
- Separación de los tubos (Tube Pitch)
- Disposición de los tubos (Layout)
- Disposición de los pases
- Carcasa
- Deflectores
- Ubicación de los fluidos
- Incrustaciones
- Caídas de presión
- Diseño de un intercambiador de calor de carcasa y tubos en Aspen Hysys
- Modelos de cálculo del simulador para el diseño
- Grados de libertad de un intercambiador de calor con los modelos Steady State Rating

Adicionalmente, cada módulo contiene:

- **Quiz:** Se creó en la sección de gamificación del Genially. Contiene 13 preguntas de selección múltiple para evaluar el aprendizaje de los contenidos de módulo.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- **Ejercicios resueltos y videos:** Se plantearon ejercicios (referenciados) de ejemplo para ser desarrollados en el simulador Aspen HYSYS. Cada ejercicio cuenta con la solución del paso a paso para resolverlo en el simulador en formato PDF y están respaldados con videos explicativos.
- **Ejercicios propuestos:** Se plantearon ejercicios (referenciados) de simulación que piden calcular las variables de las corrientes de entrada o salida del equipo , variables de equipos teniendo en cuenta los diversos grados de libertad y los modelos de cálculo que emplea el simulador para las simulaciones, además incluyen ejercicios de diseño detallado de intercambiadores de calor de carcasa y tubos y casos de estudio con sus respectivas soluciones.
- **Encuestas en línea:** Se crearon en la plataforma de Formularios de Google. La primera encuesta se aplica en la prueba piloto y consta de 11 preguntas; 10 de ellas son de selección múltiple y dos son justificables, y la última es una pregunta abierta. La segunda encuesta es una copia del formulario anterior y se ajustaron las preguntas para la prueba final; se hicieron 13 preguntas, la primera es una casilla de verificación, 11 de selección múltiple y dos son justificables, y la última es una pregunta abierta.

4.2 Diseño y montaje de la herramienta didáctica

El material complementario se puede visualizar en el siguiente vínculo de enlace <https://view.genial.ly/6254393aa08b9f001a955ce6/presentation-modulo-de-autoaprendizaje-sobre-intercambiadores-de-calor>

4.2.1 *Diseño de la interfaz*

Se construyeron y se ensamblaron todos los elementos que conforman la herramienta los cuales son:

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- **Portada:** En ella se colocó el nombre de la herramienta, una imagen de intercambiadores de calor con su referencia, el escudo de la universidad y el nombre de la autora. Se escogió un tipo de letra parecida al Arial, para los títulos se utilizó la fuente *Heebo* y para los textos *Inter* (Figura 2). El nombre de la herramienta tiene interactividad de ir a la siguiente página, al dar clic sobre este lo dirige a la página de menú principal.

Figura 2

Portada de la herramienta didáctica virtual

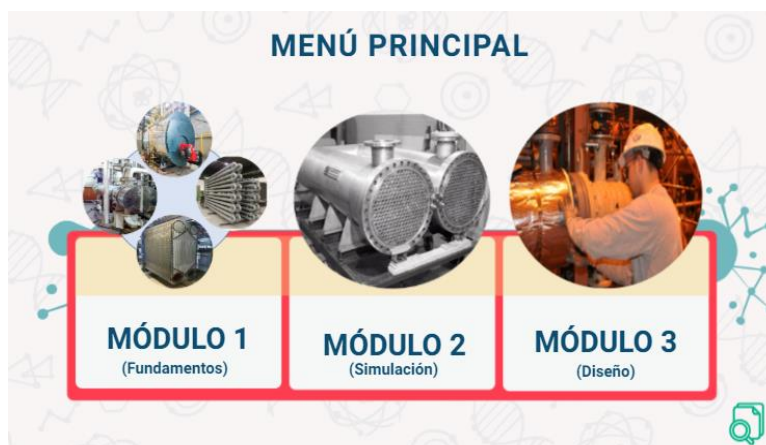


- **Menú principal:** Se encuentra la ruta de acceso a los 3 módulos (Figura 3). Cada módulo fue representado por una imagen y cada una cuenta con una breve introducción del contenido del módulo. Para poder visualizar la introducción fue necesario añadirle a la imagen un modo interactivo que despliega una ventana emergente. Debajo de cada foto se colocaron en mayúscula los títulos de los módulos y entre paréntesis el nombre en una sola palabra del módulo. Para seguir explorando la herramienta es necesario hacer clic sobre alguno de los módulos, al ejecutar esta acción aparece la nomenclatura de los iconos.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Figura 3

Menú principal de la herramienta didáctica



- **Nomenclatura de los íconos interactivos:** Se elaboró con el fin de dar a conocer anticipadamente a los estudiantes que el módulo tiene estos recursos (íconos) interactivos y pueden encontrar en ellos información adicional, videos, referencias de imágenes, información del simulador, documentos PDF, etc. (Figura 4). Se implementaron los mismos íconos en los 3 módulos, por ende, cada módulo contiene esta diapositiva antes de ser introducido al contenido teórico. Además, se agregaron las etiquetas de navegación *siguiente*, para avanzar de página o *anterior* si desea regresar al menú principal.

Figura 4

Nomenclatura de los íconos interactivos

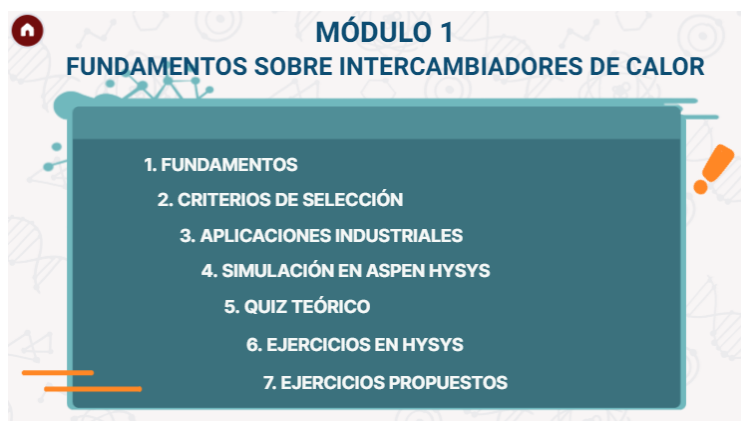


APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- **Tablas de contenido:** Cada módulo tiene su propia tabla de contenido con sus respectivos títulos y contenidos, se adicionó el módulo y nombre del módulo. En la Figura 5 se observa que el módulo 1 tiene 7 ítems, cada ítem tiene un modo interactivo para dirigir al usuario al tema correspondiente, adicionalmente se agregó un icono en la parte superior izquierda para regresar en cualquier momento al menú principal.

Figura 5

Tabla de contenido del módulo 1



4.2.2 Contenido teórico, multimedia y evaluativo

Se organizaron los contenidos de manera que sea un ambiente visualmente agradable e interactivo para el usuario, a continuación se exponen algunas de las imágenes del contenido teórico del módulo.

En la Figura 6 se observa el ítem fundamentos, este ítem este compuesto por 3 temas, cada tema cuenta con un recurso interactivo de manera que el usuario puede dirigirse a cualquier de ellos tan solo dar clic en el icono *ver*. Se incluye la etiqueta de navegación *volver al índice del módulo 1* si el usuario quiere observar los demás contenidos.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Figura 6

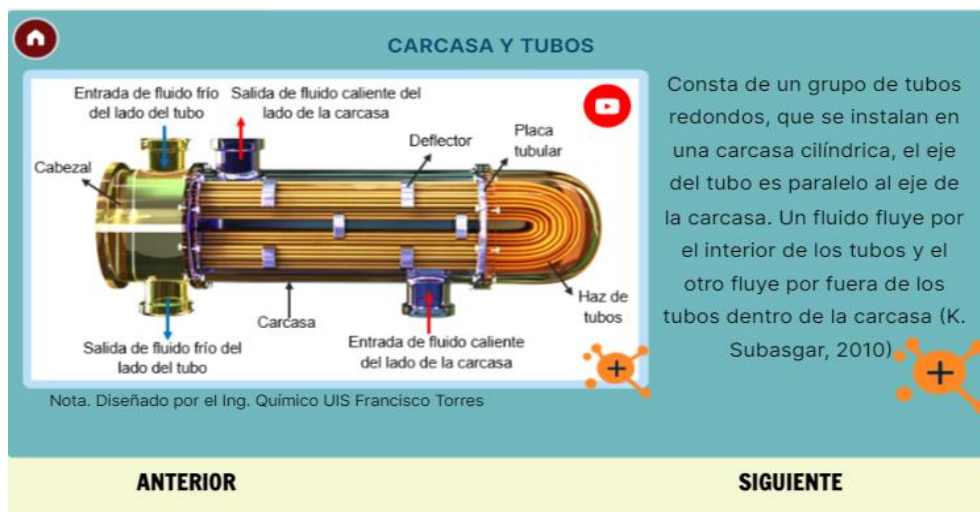
Fundamentos. Primer ítem de la tabla de contenido



En la Figura 7 se observa uno de los equipos que se encuentra en el tema de clasificación. Esta diapositiva contiene iconos interactivos los cuales incluyen información adicional y un enlace a YouTube para ver la animación del equipo. Adicionalmente, cuenta con el icono de retorno al menú principal y las etiquetas de navegación *anterior* y *3*

Figura 7

Clasificación. Intercambiador de calor de carcasa y tubos



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

En la figura 8 se muestra los términos del glosario seleccionados en el módulo 1 en la diapositiva *Temperatura de diseño*. Los términos se resaltaron en color azul, y la definición se encuentra en el icono seleccionado para incluir la información adicional. La imagen no tiene referencia bibliográfica ya que fue obtenida a través de la galería de Genially.

Figura 8

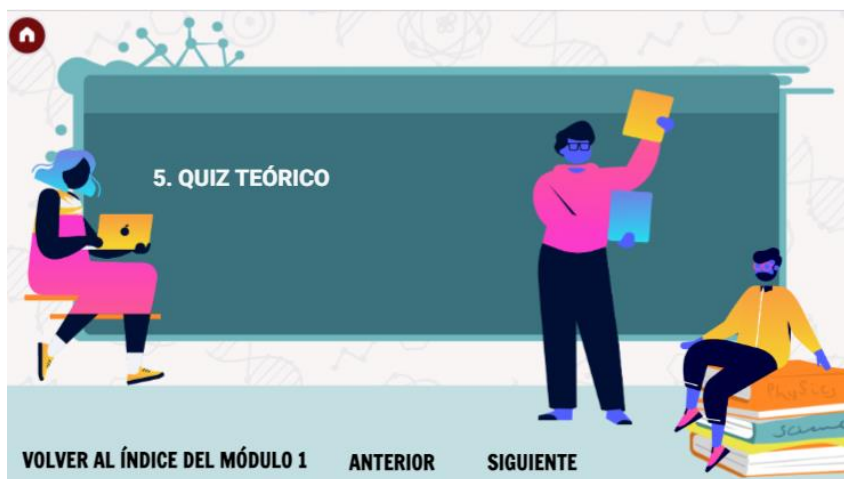
Términos del glosario en la diapositiva Temperatura de diseño



Finalizada la parte teórica, el usuario debe resolver un quiz teórico relacionado con el contenido estudiado, al dar clic sobre el título se abre otra pestaña en el navegador con el quiz. Se eligieron las plantillas del juego quien quiere ser millonario (Figura 9).

Desafortunadamente la plantilla no cuenta con ayudas así que la ayuda que se le agregó al quiz fue *inténtalo de nuevo* de esta manera el estudiante puede darse cuenta qué aspectos ha aprendido y cuáles debe reforzar. El quiz finaliza cuando se completen los 500.000 puntos.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

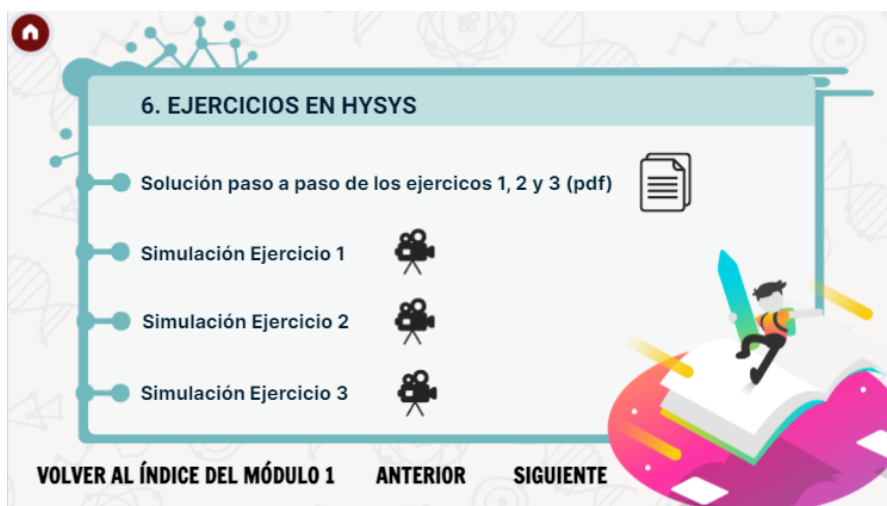
Figura 9*Quiz teórico*

Finalizado el quiz, se agregaron 3 etiquetas según las necesidades que el usuario pueda tener; *siguiente*, para continuar con el ítem 6, *anterior* para revisar algún tema del ítem 4 o *volver al índice del módulo 1* para revisar algún tema de los ítems iniciales.

Como se observa en la Figura 10 se encuentran los ejercicios de ejemplo planteados para ser desarrollados en el simulador Aspen HYSYS. Cada ejercicio cuenta con la solución del paso a paso para resolverlo en el simulador en formato PDF y están respaldados con videos explicativos. El usuario al tener un acercamiento al software y conocer el procedimiento a seguir para su uso, permite un aprendizaje más fácil con la imitación de las acciones desarrolladas en los videos.

En la Figura 11 se observa la diapositiva de los ejercicios propuestos. Se debe dar clic en el título para abrir el documento con los ejercicios planteados. Estos se implementaron con el fin de desarrollar habilidades en el estudiante en el aprendizaje autónomo, el estudiante podrá indagar y motivarse a profundizar más en el tema. Concluido el primer módulo el estudiante puede volver al índice del módulo 1 y revisar algún tema, devolverse para revisar algún video o ejercicio, o dirigirse directamente al menú principal para continuar con el siguiente módulo.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Figura 10*Ejercicios en HYSYS***Figura 11***Ejercicios propuestos*

En la Figura 12 se observa la encuesta de satisfacción, esta se encuentra al finalizar los módulos 2 y 3. Si el usuario revisa todo el Módulo debe responder la encuesta al finalizar el módulo 3 de lo contrario debe hacerlo en el módulo 2.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Figura 12

Encuesta de satisfacción



4.3 Prueba y ajustes

Como se mencionó en la tercera etapa de la metodología, durante todo el proceso de diseño y montaje de la herramienta se revisaron y se hicieron correcciones inmediatamente. Sin embargo, al terminar todo el proceso de diseño fue necesario verificar el funcionamiento de la herramienta antes de realizar la prueba final.

Para la presentación de resultados se tomó como referencia la propuesta presentada en el MEC “Diseño y Desarrollo de un Material Educativo Computarizado para la Introducción a la Ingeniería Química” (Contreras & Sánchez, 2005). Los resultados de las encuestas de satisfacción aplicadas en la prueba piloto y final se encuentran en el Apéndice A. A continuación, se mencionan las conclusiones de los criterios evaluados en el Módulo de Aprendizaje de Intercambiadores de Calor en Aspen HYSYS.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

4.3.1 Prueba piloto

El análisis de los resultados se hizo con base en los estudiantes que exploraron el módulo y respondieron la encuesta. De 90 estudiantes, 86 completaron la encuesta. A los estudiantes se les dio un término de 2 semanas (desde el 16 hasta el 26 de agosto del 2022) para interactuar con la herramienta didáctica y responder la encuesta.

- **Facilidad de uso:** la mayoría de los estudiantes manifestaron que pudieron acceder fácilmente a la herramienta y encontrar los temas de manera rápida siguiendo la estructura dada. Solo el 4.7 % de los estudiantes no estuvieron de acuerdo con la estructura de navegación propuesta.
- **Entorno visual:** el diseño de la interfaz fue agradable a los estudiantes. Prácticamente la totalidad coincidieron que la teoría presentada fue clara, de fácil comprensión y entendimiento. El 2.3 % y el 1.2 % no estuvieron de acuerdo o en total acuerdo respectivamente. Aspectos como el diseño de las plantillas, colores empleados, tipo y tamaño de letra, y claridad y calidad en el texto, fueron calificadas entre excelente y bueno, solo el 2.3 % de los estudiantes los consideraron regulares.

La mayoría opinó que la metodología propuesta para resolver el ejercicio y el lenguaje utilizado en el video 1 fueron entre excelente y bueno. El 2.3 % y el 1.2 % de los usuarios consideraron que fue regular y malo respectivamente. Solo el 2.3 % de los estudiantes consideraron que la explicación del video y el desarrollo del ejercicio del segundo video fueron regulares.

- **Contenido:** las simulaciones realizadas en el simulador Aspen HYSYS afianzaron y mejoraron la comprensión de los conceptos de intercambiadores de carcasa y tubos en la mayoría de los estudiantes. Solo el 1.2 % les contribuyó en bajo grado. La mayoría de los estudiantes consideraron que el Módulo de Aprendizaje es una herramienta muy útil para la enseñanza-aprendizaje en el estudio de intercambiadores de calor. Solo el 1.2 % opinó que fue poco útil.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- **Funcionalidad:** la mayoría de los estudiantes manifestaron motivación en dedicar tiempo adicional a la herramienta didáctica para estudiar en más detalle el diseño de intercambiadores de calor. Solo el 3.5 % no le dedicarían tiempo. El 81.4 % de los estudiantes mostraron preferencia en emplear el simulador Aspen HYSYS en sus rutinas de estudios tradicionales (libro, lápiz y calculadora) en el aprendizaje de intercambiadores de calor. El 17.4 % utilizarían solo el simulador como herramienta didáctica y el 1.2 % prefiere estudiar con un libro, lápiz y calculadora.

4.3.1 Preguntas de selección múltiple con respuesta abierta

- La mayoría de los estudiantes consideraron que no debe mejorarse ningún campo de la herramienta. El 17.4 % consideraron mejorar el diseño de la herramienta, el 11.6 % en los videos, el 10.5 % en las imágenes, el 5.8 % en la redacción, el 5.8 % en los ejercicios, el 5.8 % en la teoría y el 4.7 % en el tamaño y tipo de letra.
- Las opiniones generales del módulo de aprendizaje fueron positivas; los estudiantes manifestaron que la herramienta les permitió comprender y reforzar los conceptos teóricos. Además, fue de fácil acceso, clara y creativa.

4.3.2 Prueba final

El análisis de los resultados se hizo con base en los estudiantes que exploraron el módulo y respondieron la encuesta. De 115 estudiantes, 77 presentaron la prueba final. A los estudiantes se les dio un término aproximado de 2 meses (desde el 20 de noviembre al 10 de enero del 2023) para interactuar con la herramienta didáctica y responder la encuesta.

- **Facilidad de uso:** la mayoría de los estudiantes manifestaron que pudieron acceder fácilmente a la herramienta y encontrar los temas de manera rápida siguiendo la estructura dada. Solo el

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

9.1 % de los estudiantes no estuvieron de acuerdo o totalmente de acuerdo con la estructura de navegación planteada.

- **Entorno visual:** El diseño de la interfaz fue agradable a los estudiantes. La totalidad de los estudiantes estuvieron muy de acuerdo o de acuerdo que la teoría presentada fue clara, de fácil comprensión y entendimiento. Aspectos como el diseño de las plantillas, colores empleados, tipo y tamaño de letra, claridad y calidad en el texto, fueron considerados por todos los estudiantes entre excelente y bueno, destacando que el 64.9 % de los usuarios consideraron que fueron excelentes.

La mayoría opinó que la metodología propuesta para resolver los ejercicios y el lenguaje utilizado y los videos explicativos fueron entre excelente y bueno. Solo el 2.6 % de los usuarios consideraron que fue regular.

- **Contenido:** Los ejercicios realizados en el simulador Aspen HYSYS afianzaron y mejoraron la comprensión de los conceptos de intercambiadores de carcasa y tubos en la mayoría de los estudiantes. Solo al 20.8% les contribuyó en mediano grado.

La mayoría de los estudiantes consideraron que el Módulo de Aprendizaje es una herramienta muy útil para la enseñanza-aprendizaje en el estudio de intercambiadores de calor. Solo el 1.3% opinó que fue poco útil.

- **Funcionalidad:** La mayoría de los estudiantes manifestaron motivación en dedicar tiempo adicional a la herramienta didáctica para estudiar en más detalle el diseño de intercambiadores de calor. Solo el 2.6% no le dedicarían tiempo.

El 70.1% de los estudiantes mostraron preferencia en emplear el simulador Aspen HYSYS en sus rutinas de estudios tradicionales (libro, lápiz y calculadora) en el aprendizaje de

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

intercambiadores de calor, el 23.4% prefieren el simulador, el 3.9% prefieren estudiar con un libro, lápiz y calculadora y el 2.6% solo estudian lo de la clase.

- **Evaluación:** La mayoría de los estudiantes consideraron que la formulación de las preguntas fue adecuada. Solo el 1.3% estuvo en desacuerdo.

4.3.2.1 Preguntas de selección múltiple con respuesta abierta

- La mayoría de los estudiantes consideraron que no debe mejorarse ningún campo. El 26% consideraron mejorar el diseño de la herramienta, el 10.4% en los videos, el 2.6% en las imágenes, el 18.2% en los ejercicios, el 6.5% en la teoría.
- Las opiniones generales sobre el módulo de aprendizaje fueron positivas, puesto que a los estudiantes les pareció una propuesta didáctica nueva y motivadora y les permito reforzar y ampliar sus conocimientos.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

4. Conclusiones

- Se creó una herramienta didáctica disponible en internet para el aprendizaje de los intercambiadores de calor con ejemplos y ejercicios propuestos obtenidos de artículos científicos, tesis y libros, para ser ejecutados con el simulador ASPEN HYSYS. El diseño de la interfaz fue calificado como excelente o bueno por la gran mayoría de los estudiantes.
- Un gran número de estudiantes que evaluaron la herramienta consideraron que el uso del simulador contribuye a fortalecer los conceptos relacionados con los intercambiadores de carcasa y tubos. Adicionalmente, encontraron el Módulo de Aprendizaje como una herramienta muy útil en la enseñanza de estos conceptos.
- La implementación de la encuesta en Formularios de Google resultó ser una estrategia efectiva para medir la satisfacción de los estudiantes con los temas tratados. Además, los Formularios de Google proporcionaron un ambiente seguro y confiable para la recopilación y almacenamiento de los datos, y permitió un acceso fácil y rápido a los resultados de la encuesta.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

5. Recomendaciones

- Se recomienda que los profesores de las asignaturas de Introducción a la Ingeniería Química, Fenómenos de transporte II, Síntesis y Análisis de procesos y en la práctica de laboratorio de intercambiadores de calor motiven a sus estudiantes a usar la herramienta desde los primeros días de inicio de semestre y se haga hincapié cuando durante las clases magistrales se vean contenidos expuestos dentro de la herramienta.
- Se recomienda ampliar el contenido expuesto para los otros tipos de intercambiadores de calor para así robustecer la herramienta. Adicionalmente se recomienda que los casos de estudio sean ampliados.
- Se recomienda que herramientas análogas a la presente sean desarrolladas para complementar los conceptos impartidos en otras asignaturas, así como para tener un acercamiento a casos representativos de aplicaciones industriales. Por ejemplo, se pueden desarrollar herramientas sobre los reactores químicos o sobre los equipos de bombeo.
- Se recomienda realizar las simulaciones en estado dinámico para analizar y evaluar en tiempo real el desempeño de los intercambiadores de calor cuando estos son sujetos a cambios de condiciones de operación.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Referencias bibliográficas

- Alvarado, E. A. S. (2012). Simulación de Intercambiadores de Calor, Diseño de Redes de Intercambio Calórico y Estimación de Costos usando Aspen. Universidad de Magallanes.
- Ao, T., Xing, W., Liwen, H., Yubo, C., & Ying, Y. (2018). *Online Simulation of Shell-and-Tube Heat Exchanger Based on Configuration Software*. 1(1), 290–292. <https://doi.org/10.26480/icnmim.01.2018.290.292>
- Arroyo, A. (2014). Diseño Bajo Norma TEMA de Intercambiadores Tubo-Carcasa. Universidad Carlos III de Madrid.
- Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2016). Ciencia e Ingeniería de Materiales. In *Materials & Design* (Vol. 12, Issue 1). <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0261306991901019>
- Barragán, E., & Díaz, C. (agosto de 2017). *Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos*. Obtenido de Baixardoc: <https://baixardoc.com/documents/intercambiador-tubos-concetricos-5c86c55c1d5f9>
- Belman Flores, J. M. (2008). Desarrollo de un modelo físico para una instalación de producción de frío por compresión de vapor utilizando el refrigerante R134a. Validación experimental y aplicación para la simulación energética. 253. [https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/384550/Tesis_Belman Flores_JM_Desarrollo_modelo_fisico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/384550/Tesis_Belman_Flores_JM_Desarrollo_modelo_fisico.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bhatti, S. K., Krishna, C. M., Vundru, C., Neelapu, M. L., & Niranjana Kumar, I. N. (n.d.). Estimating Number of Shells and Determining the Log Mean Temperature Difference Correction Factor of Shell and Tube Heat Exchangers. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 53, 13. <https://doi.org/10.2495/HT060321>
- Bhavsar, J. J., Matawala, V. K., & Dixit, S. (2013). Design and Experimental Analysis of Spiral Tube Heat Exchanger. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 11, 2320–2092.
- Byrne, R. C. (2019). *TEMA Standards of the Tubular Exchanger*.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- Butterworth. (1977). Engineering Design Guides. In *Introduction to Heat Transfer* (pp. 1–48). Oxford University Press.
- Cengel, Y. A. (2016). *Transferencia de Calor y Masa*. (3ra ed.). McGRAW-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Chen, Q., Finney, K., Li, H., Zhang, X., Zhou, J., Sharifi, V., & Swithenbank, J. (2012). Condensing boiler applications in the process industry. *Applied Energy*, 89(1), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.020>
- Contreras, & Carreño. (2012). Simuladores en el ámbito educativo: un recurso didáctico para la enseñanza. *Ingenium*, 13(25), 107–119. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5038479>
- Contreras, J., & Sánchez, V. (2005). *Diseño y Desarrollo de un Material Educativo Computarizado para la Introducción a la Ingeniería Química*. Universidad Industrial de Santander.
- Córdoba Tuta, E. J., & Fuentes Díaz, D. A. (2016). Modelado y simulación del flujo de intercambiadores de calor de tubos y aletas con cambio de fase en el refrigerante. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Calculo y Diseño En Ingeniería*, 32(1), 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2014.11.002>
- Díaz, C., García, A., & Calacich, S. (2015). El simulador: la percepción de los estudiantes de la licenciatura en relaciones comerciales en la utilización del simulador de la plataforma a distancia. *European Scientific Journal*, 11(1), 321–335.
- Diemerang. (octubre de 2018). *Fire Tube Steam Boiler Bahan Bakar Gas LPG dan Solar Winketel*. Obtenido de Wikimedia commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fire_tube_steam_boiler_bahan_bakar_Gas_LP_G_dan_Solar_winketel.jpg?uselang=
- Edwards, J. E. (1976). Design and Rating Shell and Tube Heat Exchangers. *Chemical Engineering (New York)*, 83(14), 1–30.
- EnggCyclopedia. (s.f.). *When to Use Finned Tube Heat Exchangers*. Obtenido de <https://www.enggcyclopedia.com/2019/07/when-to-use-finned-tube-heat-exchangers/>

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- Fàbregas i Oller, O., Marín Merrouni, N., Sánchez Martínez, A., Sánchez Cano, S., & Serrano i Vallvé, M. (2018). *Equipos. Planta de Producción de Cloruro de Vinilo* [Universitat Autònoma de Barcelona.]. <https://ddd.uab.cat/record/199194>
- Gelvez, C. A. V. (2018). Formulación de un modelo de predicción de ensuciamiento de los intercambiadores de calor del tren de precalentamiento de la unidad de destilación de crudo U-2000 de la refinería de Barrancabermeja. Universidad Industrial de Santander.
- Heng An. (2019). *Intercambiador de calor refrigerado por aire*. Obtenido de: <https://www.hengancooling.com/es/intercambiador-de-calor-refrigerado-por-aire.html>
- Hysys Operations Guide. (2005). Windows. Bucaramanga: Aspen Tech
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. In P. E. Roig (Ed.), *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Cuarta). Prentice Hall.
- Kakaç, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design, Third Edition* (Vol. 6). <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=sJXpvP6xLZsC&pgis=1>
- Kara, Y. A., & Güraras, Ö. (2004). A computer program for designing of shell-and-tube heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 24(13), 1797–1805. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.12.014>
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor* (1ra ed.). McGraw Hill Book Company, Inc.
- Labat, J. C. (2018). *Diseño y Cálculo de un Intercambiador de Calor*. Universidad de Cantabria.
- Lagos, C., & Elisa, C. (2004). *Conceptos básicos de intercambiadores de calor características generales y mantención*.
- Larowsk, A., & Taylor, M. A. (1995). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*. <https://doi.org/10.1243/PIME>
- Laygo Gaskets. (s.f.). *Industria Alimentaria*. Obtenido de: <https://laygo.es/aplicaciones/industria-alimentaria/>

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- Ludwig, E. (2001). Heat Transfer. In Applied Process Design for Chemical & Petrochemical Plants (3ra ed., pp. 1–288). [https://doi.org/10.1016/s1874-8635\(01\)80003-0](https://doi.org/10.1016/s1874-8635(01)80003-0)
- Minton, P. E. (1970). Designing spiral-plate heat exchangers. *Chemical Engineering Journal*, 77, 103–112.
- Mukherjee, R. (1998). Effectively design hell-and-tube heat exchangers. *Chemical Engineering Progress*, 94(2), 21–37.
- Nagle, W. M. (1933). Mean Temperature Differences in Multipass Heat Exchangers. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 25(1), 604–609
- Omidi, M., Farhadi, M., & Jafari, M. (2017). A comprehensive review on doble pipe heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 110, 1075–190. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.027>
- Ordoñez, I. D. (2010). Memorias del curso Aspen HYSYS: "*Software para ingenieros de procesos*". Bucaramanga.
- Oschal. (Junio de 2014). *BEM Type Shell and Tube Heat Exchanger (with Two Tube Passes)*. Obtenido de Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wymiennik_BEM_dwubiegowy.jpg
- Pérez, S. V. (2011). *Diseño de un Intercambiador de Calor para la Industria Alimentaria* [Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/3607>
- Rodriguez, L. R. G. (2006). *Caracterización Experimental de una Superficie Extendida para su Aplicación en Intercambiadores de Calor Enfriados por Aire*. Instituto Politécnico Nacional.
- Rattanamaung, M. (noviembre de 2015). *Intercambiador de calor de placas*. Obtenido de Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org>
- Rattanamaung, M. (noviembre de 2015). *Concentric tube or Double-pipe*. Obtenido de Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pro10.jpg>
- Shah, R. K., & Sekulib, D. P. (1998). Heat Exchangers. In *Heat Exchangers in Handbook of Heat Transfer Applications* (3rd ed., pp. 2–170). McGraw-Hill.

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- Sinnott, R. K. (2005). Coulson and Richardson's Chemical Engineering (3ra ed., Vol. 6). Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, R. (2005). Chemical Process Design and Integration. In John Wiley & Sons, Ltd
- Schmid, M. (abril de 2013). Spiral_heat_exchanger.png: *Esquema de un Intercambiador de Calor en Espiral*. Obtenido de Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spiral-heat-exchanger-schematic.svg>
- Subasgar, K. (2010). *Thermal Design of a Shell and Tube Heat Exchanger* (Issue January). University of Moratuwa.
- Thulukkanam, K. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Thulukkanam, K. (2013). Shell and Tube Heat Exchanger Design. In *Heat Exchanger Design Handbook* (pp. 293–387).
- Valdovinos, R. N. M. (2018). Calderas: Clasificación, Usos y Mecanismos de Transferencia de Calor. *Researchgate*, 11. https://www.academia.edu/37204691/_calderas_clasificación_usos_y_mecanismos_de_transferencia_de_calor

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Apéndice

Apéndice A. Resultado de la encuesta de satisfacción

- **A.1. Presentación de los resultados de la encuesta realizada en la prueba piloto.**

Tabla 2.

Respuesta de la encuesta de satisfacción del módulo 2

Criterio	Indicadores	Pregunta	Resultados
Facilidad de uso	Navegación correcta	3. ¿Puedo acceder fácilmente a la herramienta didáctica y encontrar de manera rápida los temas que quiero consultar?	Muy de acuerdo 44.2%
			De acuerdo 51.2%
			En desacuerdo 4.6%
			Totalmente en desacuerdo 0%
Entorno visual	Aspectos gráficos Diseño de plantillas Calidad técnica	5. El entorno visual como diseño, imágenes, colores, letra, tamaño de letra, claridad y calidad del texto son:	Excelente 61.6%
			Bueno 36%
			Regular 2.3%
			Malo 0%
	Calidad estética Formato del texto Estilo del lenguaje	6. Respecto al video 1, considera que el lenguaje y la metodología aplicada para resolver el ejercicio fueron:	Excelente 41.9%
			Bueno 54.7%
			Regular 2.3%
			Malo 1.2%
			Excelente 43%

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

		7. Respecto al video 2, el desarrollo del ejercicio y las explicaciones dadas por el autor del video fueron	Bueno 54.7%
			Regular 2.3%
			Malo 0%
	Estilo del lenguaje	4. ¿Considera que la teoría presentada en el módulo es clara, de fácil comprensión y entendimiento?	Muy de acuerdo 58.1%
			De acuerdo 38.4%
			En desacuerdo 2.3%
			Totalmente en desacuerdo 1.2%
Contenido	Claridad	1. ¿En qué grado contribuyeron las simulaciones en ASPEN HYSYS para mejorar la comprensión de los conceptos de intercambiadores de calor de carcasa y tubos?	En alto grado 81.4%
			En mediano grado 17.4%
			En bajo grado 1.2%
			En ningún grado 0%
		2. ¿Qué tan útil ha sido el Módulo de Aprendizaje Autónomo para el estudio de Intercambiadores de Calor?	Muy útil 68.6%
			Bastante útil 30.3%
			Poco útil 1.2%
			Nada útil 0%
Funcionalidad	Capacidad motivadora de la herramienta didáctica	8. ¿Dedicarías tiempo adicional a la herramienta virtual para profundizar, analizar y aplicar los conceptos académicos y heurísticos en el diseño de intercambiadores de calor?	Si 96.5%
			No 3.5%
		9. después de haber interactuado con el simulador, preferiría estudiar el tema de intercambiadores:	De un libro con calculadora, lápiz y papel 1.2%
			Usar un simulador 17.4%
			Con a y b 81.4%
			Solo estudio lo de la clase 0%

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

- **A.2. Presentación de los resultados de la encuesta realizada en la prueba final.**

Tabla 3.

Respuesta de la encuesta de satisfacción del Módulo de Aprendizaje

Criterio	Indicadores	Pregunta	Resultados
Facilidad de uso	Navegación correcta	4. ¿Puedo acceder fácilmente a la herramienta didáctica y encontrar de manera rápida los temas que quiero consultar?	Muy de acuerdo 44.2%
			De acuerdo 46.8%
			En desacuerdo 5.2%
			Totalmente en desacuerdo 3.9%
Entorno visual	Aspectos gráficos	6. El entorno visual como diseño, imágenes, colores, letra, tamaño de letra, claridad y calidad del texto son:	Excelente 64.9%
			Bueno 35.1%
			Regular 0%
			Malo 0%
	Diseño de plantillas	7. Respecto a los videos, considera que el lenguaje y la metodología aplicada para resolver los ejercicios fueron:	Excelente 51.9%
			Bueno 45.5%
			Regular 2.6%
			Malo 0%
	Calidad técnica	8. El desarrollo de los ejercicios y las explicaciones dadas por el autor de los videos fueron	Excelente 55.8%
			Bueno 41.6%
			Regular 2.6%
			Malo 0%
Calidad estética			
Formato del texto			
Estilo del lenguaje			

APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

	Estilo del lenguaje	5. ¿Considera que la teoría presentada en los módulos es clara, de fácil comprensión y entendimiento?	Muy de acuerdo 61%
			De acuerdo 39%
			En desacuerdo 0%
			Totalmente en desacuerdo 0%
Contenido	Claridad	2. ¿En qué grado contribuyeron las simulaciones en ASPEN HYSYS para mejorar la comprensión de los conceptos de intercambiadores de calor de carcasa y tubos?	En alto grado 79.2%
			En mediano grado 20.8%
			En bajo grado 0%
			En ningún grado 0%
		3. ¿Qué tan útil ha sido el Módulo de Aprendizaje Autónomo para el estudio de Intercambiadores de Calor?	Muy útil 49.4%
			Bastante útil 49.4%
			Poco útil 1.3%
			Nada útil 0%
Funcionalidad	Capacidad motivadora de la herramienta didáctica	10. ¿Dedicarías tiempo adicional a la herramienta virtual para profundizar, analizar y aplicar los conceptos académicos y heurísticos en el diseño de intercambiadores de calor?	Si 97.4%
			No 2.6%
		11. después de haber interactuado con el simulador, preferiría estudiar el tema de intercambiadores:	De un libro con calculadora, lápiz y papel 3.9%
			Usar un simulador 23.4%
			Con a y b 70.1%
			Solo estudio lo de la clase 2.6%
Evaluación	Formulación de preguntas	9. ¿Consideras que las preguntas formuladas en el quiz fueron adecuadas?	Muy de acuerdo 49.4%
			De acuerdo 49.4%
			En desacuerdo 0%

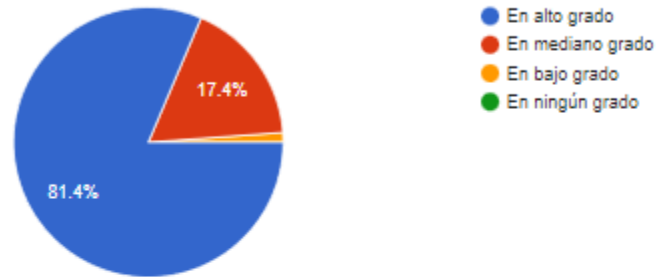
APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

			Totalmente en desacuerdo 1.3%
--	--	--	-------------------------------

Apéndice B. Encuesta de satisfacción sobre el módulo de aprendizaje de intercambiadores de calor en Aspen-Hysys

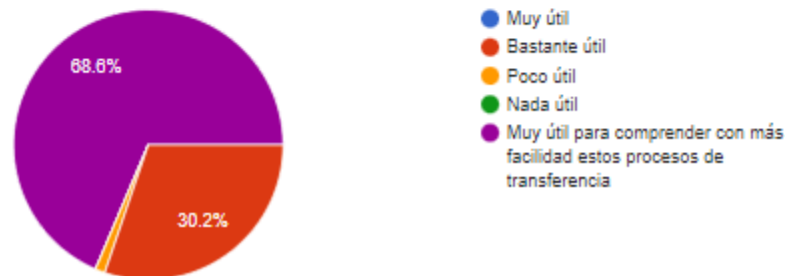
1. ¿En qué grado contribuyeron las simulaciones en ASPEN HYSYS para mejorar la comprensión de los conceptos de intercambiadores de calor de carcasa y tubos?

86 respuestas



2. ¿Qué tan útil ha sido el Módulo de Aprendizaje Autónomo para el estudio de Intercambiadores de Calor?

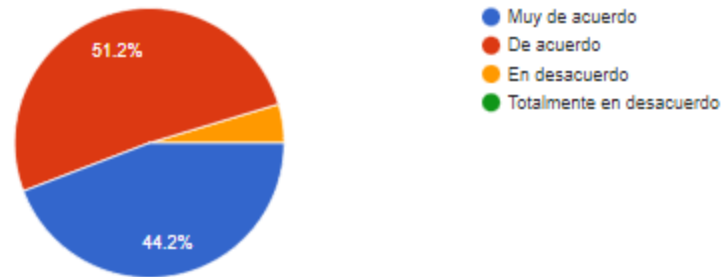
86 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

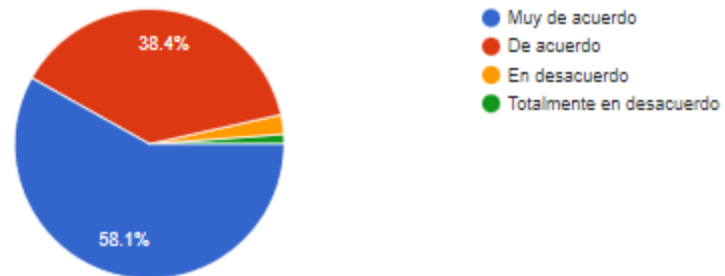
3. ¿Puedo acceder fácilmente a la herramienta didáctica y encontrar de manera rápida los temas que quiero consultar?

86 respuestas



4. ¿Considera que la teoría presentada en el módulo es clara, de fácil comprensión y entendimiento?

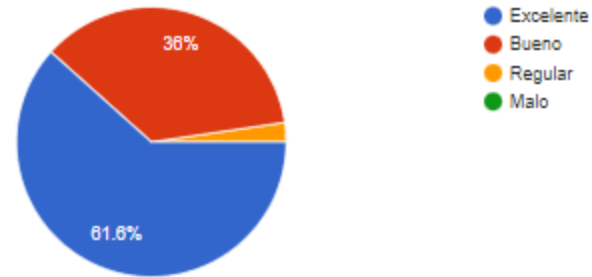
86 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

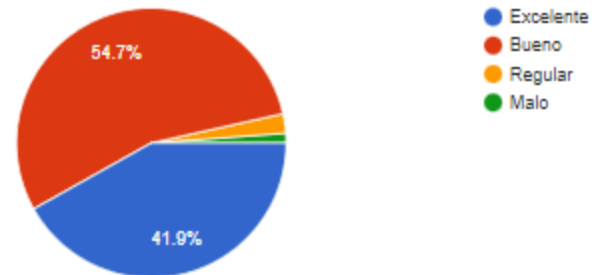
5. El entorno visual como diseño, imágenes, colores, letra, tamaño de letra, claridad y calidad del texto son:

86 respuestas



6. Respecto al video 1, considera que el lenguaje y la metodología aplicada para resolver el ejercicio fueron:

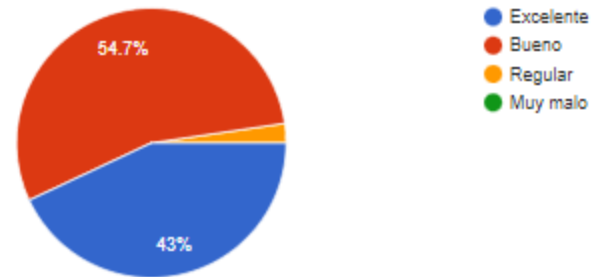
86 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

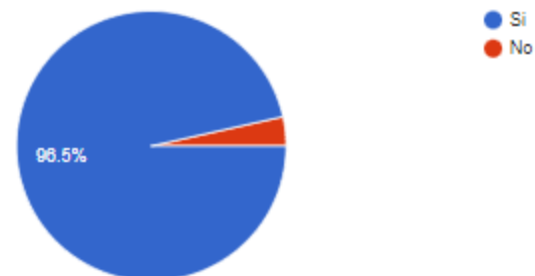
7. Respecto al video 2, el desarrollo del ejercicio y las explicaciones dadas por el autor del video fueron:

86 respuestas



8. ¿Dedicarías tiempo adicional a la herramienta virtual para profundizar, analizar y aplicar los conceptos académicos y heurísticos en el diseño de intercambiadores de calor?

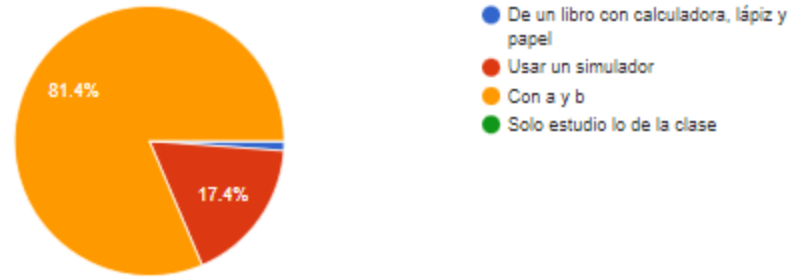
86 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

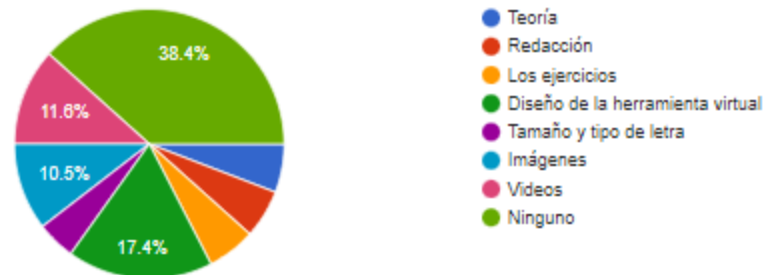
9. Después de haber interactuado con el simulador, preferiría estudiar el tema de intercambiadores:

86 respuestas



10. En qué campos considera que deben mejorarse

86 respuestas

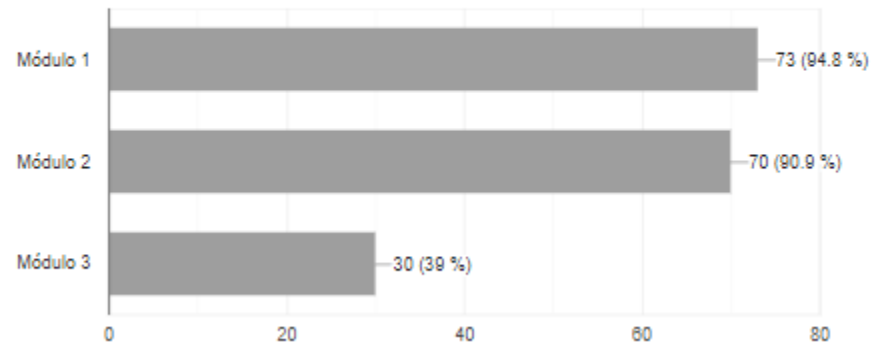


APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

Apéndice C. Encuesta de satisfacción sobre el módulo de aprendizaje de intercambiadores de calor en Aspen-Hysys. Prueba final

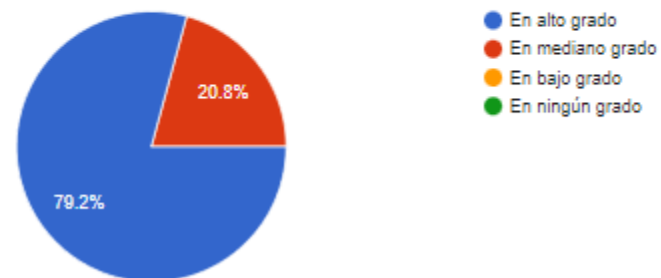
1. ¿A cuál(es) módulo(s) ingresó y trabajó completamente?

77 respuestas



2. ¿En qué grado contribuyeron las simulaciones en ASPEN HYSYS para mejorar la comprensión de los conceptos de intercambiadores de calor de carcasa y tubos?

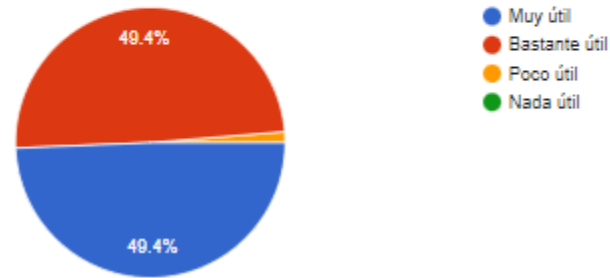
77 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

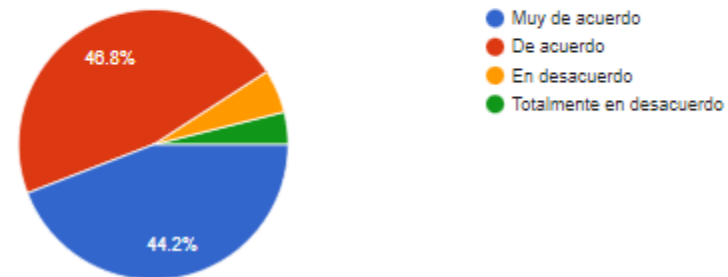
3. ¿Qué tan útil ha sido el módulo de aprendizaje autónomo para el estudio de intercambiadores de calor?

77 respuestas



4. ¿Puedo acceder fácilmente a la herramienta didáctica y encontrar de manera rápida los temas que quiero consultar?

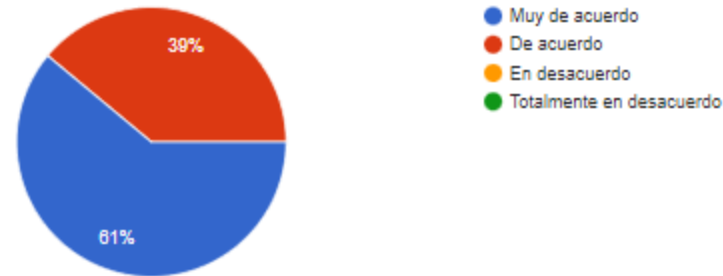
77 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

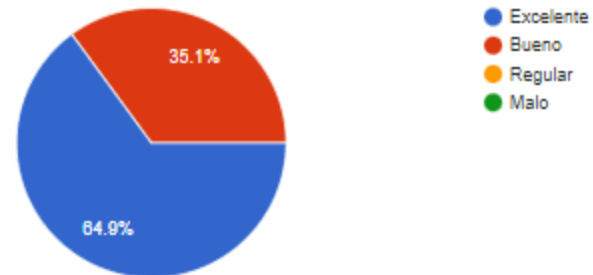
5. ¿Considera que la teoría presentada en los módulos es clara, de fácil comprensión y entendimiento?

77 respuestas



6. El entorno visual como diseño, imágenes, colores, letra, tamaño de letra, claridad y calidad del texto son:

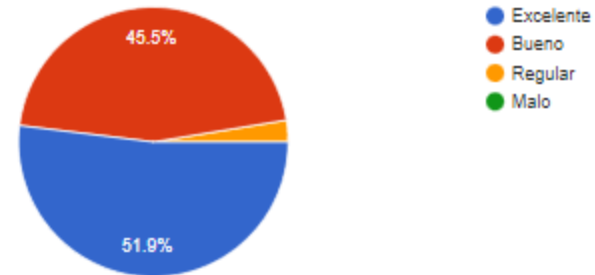
77 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

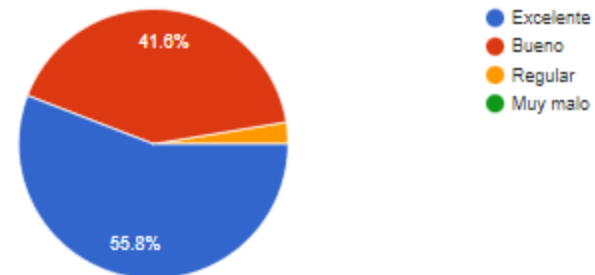
7. Respecto a los videos, considera que el lenguaje y la metodología aplicada para resolver los ejercicios fueron:

77 respuestas



8. El desarrollo de los ejercicios y las explicaciones dadas por el autor de los videos fueron:

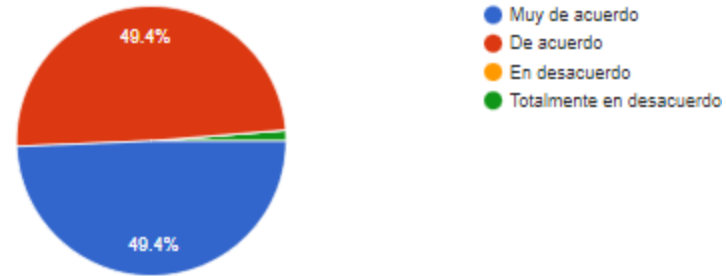
77 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

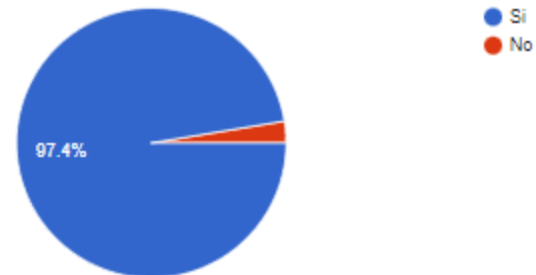
9. ¿Considera que las preguntas formuladas en el quiz fueron adecuadas?

77 respuestas



10. ¿Dedicarías tiempo adicional a la herramienta virtual para profundizar, analizar y aplicar los conceptos académicos y heurísticos en el diseño de intercambiadores de calor?

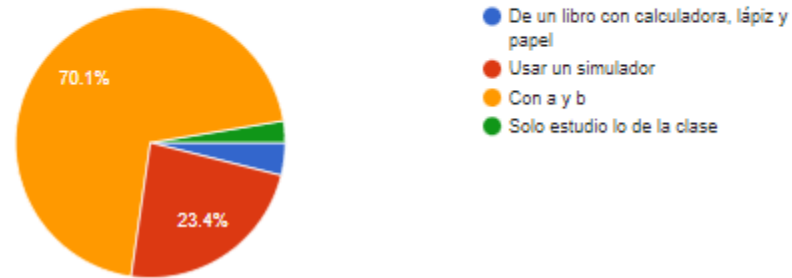
77 respuestas



APRENDIZAJE EN ASPEN-HYSYS DE INTERCAMBIADORES

11. Después de haber interactuado con el simulador, preferiría estudiar el tema de intercambiadores:

77 respuestas



12. ¿En qué campos considera que deben mejorarse el Módulo de Aprendizaje de Intercambiadores de Calor en Aspen HYSYS?

77 respuestas

