



Herramienta educativa: software didáctico en la enseñanza de ingeniería en intercambiadores de calor

Educational tool: didactic software in heat exchangers engineering education

Sergio Juárez Vázquez

Universidad del Istmo, campus Tehuantepec, Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca, México

sjuarez@sandunga.unistmo.edu.mx

ORCID: 0000-0002-2080-4861

Alfonso Flores Meza

Universidad del Istmo, campus Tehuantepec, Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca, México

ponchoc2008@hotmail.com

ORCID: 0000-0002-2865-727X

Lizbeth Contreras Romero

Universidad del Istmo, campus Tehuantepec, Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca, México

lizabetha2009@gmail.com.mx

Sandro Acevedo Zapata

Universidad del Istmo, campus Tehuantepec, Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca, México

sanaz_69@hotmail.com

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.11.24.010>

Recibido: Agosto 17, 2023
Aceptado: Diciembre 22, 2023

Resumen: Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) tienen un gran potencial para transformar el ámbito de la ingeniería, y su uso está cada vez más extendido. En este contexto, el software consta de tres módulos de cálculo: dos de ellos están enfocados en la simulación y evaluación de un Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza, y el tercero se centra en el diseño térmico hidráulico. La elección del módulo a utilizar dentro del programa depende de las necesidades del usuario. El software de libre acceso permite a docentes y estudiantes ajustar parámetros, realizar análisis de sensibilidad paramétrica, lo que permite una mejor comprensión de los efectos de las variables involucradas en el rendimiento del equipo. El software incorpora ecuaciones, gráficos y ayuda teórica para análisis profundos de variables, así como posibles ajustes que pueden realizarse con el fin de que se cumplan los requisitos térmicos hidráulicos de la unidad de intercambio de calor. Esto lo convierte en una herramienta educativa que facilita el análisis exhaustivo de las diferentes variables involucradas. Facilita el diseño de configuraciones potenciales para el servicio requerido del Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza.

Palabras clave: *Intercambiadores de Calor, Software, Didáctico, Enseñanza.*

Abstract: The Information and Communication Technologies (ICT) have a great potential to transform the field of engineering, and their use is increasingly widespread. In this context, the software (simulator) consists of three calculation modules: two of them focus on the simulation and evaluation of a shell-and-tube heat exchanger, and

the third one centers on thermal-hydraulic design. The choice of the module to be used within the program depends on the user's needs. The freely accessible software allows teachers and students to adjust parameters, perform parametric sensitivity analyses, enabling a better understanding of the effects of variables involved in the equipment's performance. The software incorporates equations, graphs, and theoretical support for in-depth analysis of variables, as well as potential adjustments that can be made to meet the thermal-hydraulic requirements of the heat exchange unit. This makes it an educational tool that facilitates comprehensive analysis of the different variables involved. It aids in designing potential configurations for the required service of the shell-and-tube heat exchanger.

Keywords: *Heat Exchangers, Software, Didactic, Teaching.*

1. Introducción

El concepto de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) emergió en la década de 1970 y ha evolucionado desde entonces. De acuerdo con la definición propuesta en [1], las TIC engloban un conjunto interrelacionado de servicios, redes, software y dispositivos diseñados con el propósito de enriquecer y elevar la calidad de vida de las personas en su entorno. Estas tecnologías han transformado profundamente la manera en que interactuamos, accedemos a la información, nos comunicamos y abordamos diversas tareas cotidianas, convirtiéndose en un elemento fundamental en la sociedad contemporánea.

En la actualidad, las prácticas educativas han experimentado diversos cambios [2, 3]. Estos abarcan desde los métodos de enseñanza y aprendizaje adoptados por los docentes y estudiantes, hasta la aparición de las tecnologías digitales y su incorporación en el proceso de enseñanza-aprendizaje a múltiples niveles educativos, abarcando desde la educación primaria y secundaria hasta la universitaria, posgrado entre otros [4].

Las técnicas de enseñanza educativas abarcan varios enfoques diseñados para mejorar la adquisición de conocimiento. Entre estos diferentes enfoques, se centra principalmente en el papel de la tecnología en el aula. Hoy en día, la tecnología ha revolucionado la forma en que enseñamos y aprendemos, brindando herramientas interactivas y recursos multimedia que enriquecen la experiencia educativa. La integración de dispositivos, aplicaciones y plataformas digitales en el entorno educativo promueve activamente la participación de los estudiantes, fomenta la colaboración y la investigación independiente, y facilita el acceso en tiempo real a la información y conocimiento. A medida que la tecnología evoluciona, su implementación estratégica en el aula se convierte en una poderosa herramienta para preparar a los estudiantes para un aprendizaje más dinámico, personalizado y relevante en la era digital [5].

Hoy en día, el uso de las TIC en el ámbito de la educación se ha incrementado significativamente, centrándose especialmente en el proceso enseñanza-aprendizaje. Muchas universidades están adoptando estas herramientas de vanguardia para enriquecer la experiencia educativa. Estas tecnologías han encontrado aplicaciones diversas y exitosas en una variedad de áreas académicas.

En el ambiente universitario, los softwares se han convertido en unas herramientas esenciales para la enseñanza de diversas materias [6, 7, 8, 9, 10]. Estos softwares interactivos involucran a los estudiantes adentrarse en experiencias realistas relacionadas con sus áreas de estudio. Desde sistemas de laboratorio en ciencia experimental hasta plataformas de análisis de datos en disciplinas como la economía e ingeniería, el uso de software de simulación permite a los estudiantes explorar conceptos complejos de manera segura y controlada.

Estos softwares no solo brindan un enfoque práctico, sino que también fomentan la participación activa y el autoaprendizaje. Los estudiantes pueden manipular variables, observar resultados y probar diferentes escenarios, lo que refuerza su comprensión permitiendo que la teoría se aplique en el mundo real. Además, estos programas a menudo ofrecen retroalimentación en tiempo real, permitiendo a los estudiantes corregir errores continuamente y mejorar su comprensión.

Desde la simulación de reacciones químicas y experimentos físicos hasta la predicción de tendencias económicas y el diseño de sistemas de ingeniería complejos, los softwares amplían las posibilidades de aprendizaje en las aulas universitarias. Al proporcionar entornos virtuales donde los estudiantes pueden experimentar y aprender de forma interactiva, estos programas ayudan a la formación de profesionales más preparados y les brinda las habilidades prácticas que requieren para su futuro desempeño en el campo laboral.

El artículo se estructura en cuatro secciones fundamentales, todas ellas convergiendo hacia la herramienta educativa: "Software Didáctico en la Enseñanza de Ingeniería en Intercambiadores de Calor". El primer apartado

se sumerge en el estado del arte, explorando aplicaciones que focalizan su atención en el uso de sistemas en el proceso enseñanza-aprendizaje. A continuación, el tercer apartado expone los materiales y métodos utilizados, detallando la metodología que se utilizó durante el desarrollo del software, con especial énfasis en la especificación de las herramientas de software adoptadas. La cuarta sección del artículo trata de los resultados alcanzados, presentando el diseño de alta fidelidad y respaldándolo con ejemplos concretos de interfaces que actúan como prueba tangible. Por último, en la quinta y última parte, se cierra el artículo con las conclusiones finales, que encapsulan los hallazgos y las implicaciones clave derivadas de esta herramienta educativa en el contexto de la enseñanza de Ingeniería en Petróleos.

2. Estado del arte

Las universidades tienen varias décadas haciendo uso de la tecnología de la información (TI) en la enseñanza, el aprendizaje y la investigación, lo que se refleja en la rica variedad de investigaciones y proyectos completados a lo largo del tiempo [11, 12, 13, 14]. La relación entre las TI y las universidades está en constante evolución, adaptándose constantemente a las necesidades cambiantes de la educación superior y la dinámica cambiante de la sociedad digital. Desde la integración inicial de los recursos digitales en las aulas hasta la sofisticación de las plataformas de aprendizaje en línea. A continuación, se analizarán trabajos de diversas áreas de la educación, donde se describen y examinan investigaciones relevantes en cada una de ellas.

En [15], explora el potencial de los videojuegos como herramienta para el aprendizaje experimental, centrándose en el estudio de la ética y temas jurisprudenciales relacionados. El autor argumenta que los videojuegos pueden utilizarse como un método atractivo para la experimentación fenomenológica con concepciones abstractas de justicia y responsabilidad ética para fomentar una mayor comprensión de estos valores. Este enfoque destaca el significativo potencial de los videojuegos como herramienta valiosa para la educación experimental, especialmente en la exploración de la ética y temas legales.

En el estudio [10], aborda la formación docente, se investigó las experiencias de estudiantes en un entorno virtual de aprendizaje empleando la plataforma Moodle en una asignatura de desarrollo personal en la modalidad de *blended-learning*. Se utilizó un enfoque cuantitativo y un diseño descriptivo no experimental, se encontró que la mayoría de los estudiantes accedía a la plataforma dos veces por semana para actividades como la entrega de tareas y la participación en foros. Los participantes percibieron que el uso de Moodle beneficiaba su proceso de aprendizaje. Concluyen que un porcentaje significativo de los estudiantes considera que el entorno virtual de aprendizaje respalda la enseñanza de esa asignatura.

Según la investigación en [13], presenta el diseño y desarrollo de un videojuego serio, “Acción Capital”, que tiene como objetivo apoyar el aprendizaje de conceptos básicos relacionados con los negocios. Los resultados destacan la efectividad de los videojuegos en el aprendizaje empresarial y enfatizan la importancia del diseño y la jugabilidad centrados en el usuario. El juego fue evaluado en un estudio piloto por estudiantes universitarios. Los resultados mostraron que el videojuego fue popular y mejoró el conocimiento empresarial de los estudiantes.

En [16], abordó la optimización del aprendizaje de química en estudiantes de segundo año de bachillerato a través del uso de la herramienta virtual PhET como estrategia metodológica. La investigación, empleó encuestas para recabar datos y los resultados indican que el 48.9% de los participantes estuvo de acuerdo en utilizar el sistema en la enseñanza de química y en que los docentes lo incorporen como estrategia. Propone la implementación de PhET en la praxis educativa a través de pasos que incluyen la interacción con el software y su vinculación con el contenido científico, con el objetivo de estimular el interés y el pensamiento científico de los estudiantes.

El análisis realizado en [17], aborda la implementación de sistemas digitales en la educación médica en la universidad UNIANDES. Dada la prohibición de utilizar cadáveres en la enseñanza médica según la ley de educación superior en Ecuador, se recurre a sistemas analógicos y digitales como alternativa. La evolución tecnológica ha permitido el desarrollo de programas y mesas de disección virtual que brindan una experiencia detallada y realista de la anatomía humana. El estudio evaluó el nivel de adopción tecnológica y el conocimiento sobre sistemas digitales. Este enfoque no solo genera ahorros sustanciales y asegura el cumplimiento normativo, sino también moderniza el proceso educativo.

Tal como se expone en el estudio [18], se presenta el diseño de un módulo didáctico de intercambiador de calor de coraza y tubos, dirigido al laboratorio de ciencias térmicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás. El diseño se realizó en tres etapas: diseño térmico, diseño mecánico y diseño hidráulico, utilizando herramientas como software de diseño asistido por computadora, software de simulación térmica y

mecánica, y hojas de cálculo en Excel. El módulo consta de un intercambiador de calor, una estructura de soporte y una instrumentación, y se utiliza como herramienta didáctica para la enseñanza de ciencias térmicas.

En base a los resultados obtenidos [19], en cual presenta el diseño de un intercambiador de calor de casco y tubos con el objetivo de optimizar el margen de refinación en la Unidad de Destilación Combinada de la Refinería de Cartagena (RCSA). Donde recopilaron información de campo a través de entrevistas y encuestas a personal técnico especializado, así como de fuentes secundarias. La metodología aplicada incluyó la investigación cuantitativa y la recolección de datos a partir de fuentes primarias y secundarias. Se utilizaron sensores de temperatura y presión para medir el rendimiento del intercambiador de calor. El intercambiador de calor, denominado E-1007, aprovecha el calor del diésel proveniente de la torre de destilación T-301 para la producción de vapor de agua a partir de los condensados provenientes de otras etapas del proceso de refinación. La implementación de esta solución innovadora puede generar beneficios económicos significativos para la refinería. Los resultados obtenidos muestran una mejora en el rendimiento del proceso de refinación y una reducción en los costos operativos.

Otros trabajos como [20, 21, 22] desarrollan interfaces para la modelación y el dimensionamiento de intercambiadoras de calor de tipo coraza y tubos. Sin embargo no muestran las ecuaciones, gráficas, restricciones, reglas heurísticas utilizadas, así como sugerencias que permitan optimizar los resultados obtenidos dado que el diseño de intercambiadores de calor es un proceso iterativo que finaliza cuando se cumple con las restricciones establecidas tanto térmicas como hidráulicas, por otra parte software comerciales como PROII, DESIGN II, ASPEN, CHEMCAD tienen altos costos de licencia y no son herramientas educativas dado que se requiere tener cierto grado de experiencia y conocimiento previo de las ecuaciones a utilizar para su adecuado uso.

3. Materiales y métodos

Al momento de desarrollar cualquier proyecto, especialmente en el ámbito del software, es fundamental adoptar una metodología que aborde la creación de soluciones tecnológicas con enfoque en las necesidades de los usuarios [23]. La elección y aplicación de una metodología adecuada no solo asegura la eficacia en el cumplimiento de los objetivos del proyecto, sino que también garantiza la satisfacción de los usuarios finales al lograr productos que sean funcionales, eficientes y adaptados a sus requerimientos.

3.1. Metodología

El proceso de diseño implementado para el desarrollo del software se llevó a cabo siguiendo las fases de la metodología de Diseño Centrado en el Usuario (DCU), también conocida como *User Centered Design* (UCD) en inglés [24]. Esta metodología se caracteriza por su enfoque iterativo y su activa participación de los usuarios en todo el proceso. A través de esta metodología, se logra garantizar una atención constante a los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema, asegurando su alcance y eficacia, se compone de varias actividades las cuales se muestran en la Figura 1.

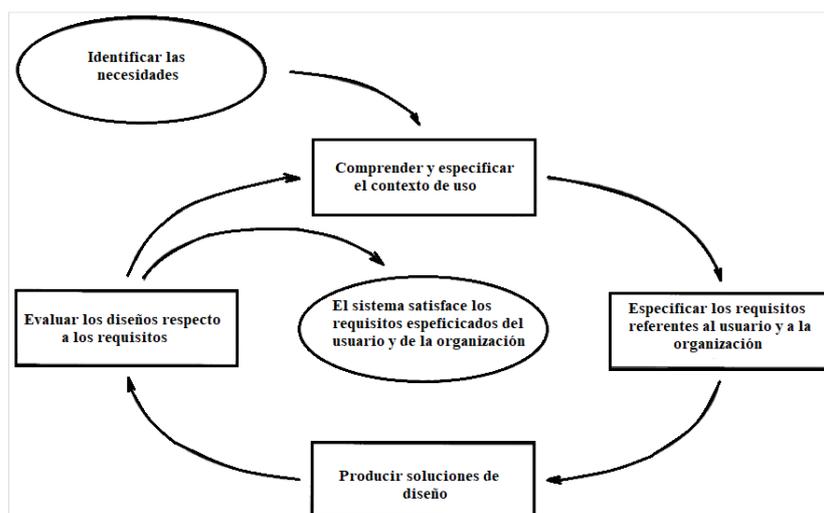


Figura 1. Actividades del diseño centrado en el usuario. Fuente: ISO 13407 [19].

A continuación, se detallan los procedimientos de cada una de las acciones que componen el enfoque DCU:

- Actividad 1: Comprender y especificar el contexto de uso. En esta etapa se identifican los usuarios a los que se dirige el sistema y se determina en qué condiciones lo utilizarán. Los desarrolladores buscan comprender el entorno en el que los usuarios interactuarán con el sistema. Esta fase busca identificar las necesidades y objetivos de los usuarios al emplear el software de Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza. Para lograrlo, se llevaron a cabo encuestas para conocer las opiniones y experiencias previas de docentes que han impartido esta materia de manera tradicional. Las encuestas también permitieron definir el modelo mental que los docentes y alumnos tienen sobre el funcionamiento del sistema en la vida real.
- Actividad 2: Especificación de los requisitos de usuarios y de la organización. En esta etapa, se analizaron los datos recopilados previamente, logrando identificar las metas principales que el sistema debería alcanzar. Además, se define un marco organizado y coherente para ayudar a los estudiantes a calcular intercambiadores de calor de carcasa y tubos. Esta estructura está destinada a brindar una experiencia clara y agradable al usar el emulador, lo que permite un análisis más preciso y comprensible de las operaciones de la computadora. De esta manera, pretende brindar a los usuarios una herramienta eficiente y amigable para optimizar su comprensión y dominio de estos conceptos clave.
- Actividad 3: Producir soluciones de diseño. El proceso utilizó una metodología divide y vencerás en la cual el desarrollo se dividió en varias etapas y se fueron trabajando de manera secuencial, comenzado con la realización de prototipos en papel iniciales hasta finalizar el desarrollo del sistema. Se generaron soluciones específicas que atienden las necesidades de los docentes y alumnos, basadas en los requisitos de las etapas previas. A lo largo de este proceso, surgieron desafíos relacionados con la navegación, el flujo y la correspondencia entre el diseño y los modelos matemáticos, los cuales se fueron resolviendo gradualmente.
- Actividad 4: Evaluar los diseños respecto a las necesidades. En esta etapa del proceso, se procede a validar las soluciones de diseño a través de la realización de pruebas con los docentes y alumnos los cuales resolvieron varios problemas de intercambiadores de calor, con el propósito de identificar posibles inconvenientes en términos de usabilidad y cálculos que requieran ser solucionados. Se realizaron pruebas de usabilidad para evaluar el software mediante el cuestionario SUS (*System Usability Scale*) de Brooke [25]. La evaluación se realizó sobre 14 usuarios, siguiendo las recomendaciones de Jakob Nielsen [26], que demostró que un grupo pequeño de usuarios da iguales o mejores resultados en la evaluación del sistema que un grupo grande de usuarios.

A continuación, se presenta una descripción detallada del programa desarrollado, incluyendo la metodología de cálculo empleada, su algoritmo, la plataforma en la cual se implementó y el lenguaje de programación utilizado.

En términos de metodología de cálculo, se optó por el Método Bell Delaware debido a su probada confiabilidad y precisión en la estimación del comportamiento en el lado de la coraza (ver Figura 2). Los resultados obtenidos a través de este método demuestran que la correlación que se ajusta a los datos experimentales es la correlación Delaware Mendoza [27]. Esto se debe a que dicha correlación ofrece una aproximación más acertada para calcular el área de flujo cruzado a lo largo de la línea central de flujo. Asimismo, en lo que respecta a la evaluación del coeficiente de transferencia de calor, esta correlación considera diversos factores de corrección, como los efectos de derivación, fugas y flujos en los espaciamientos, lo que contribuye a una mayor precisión en los resultados.

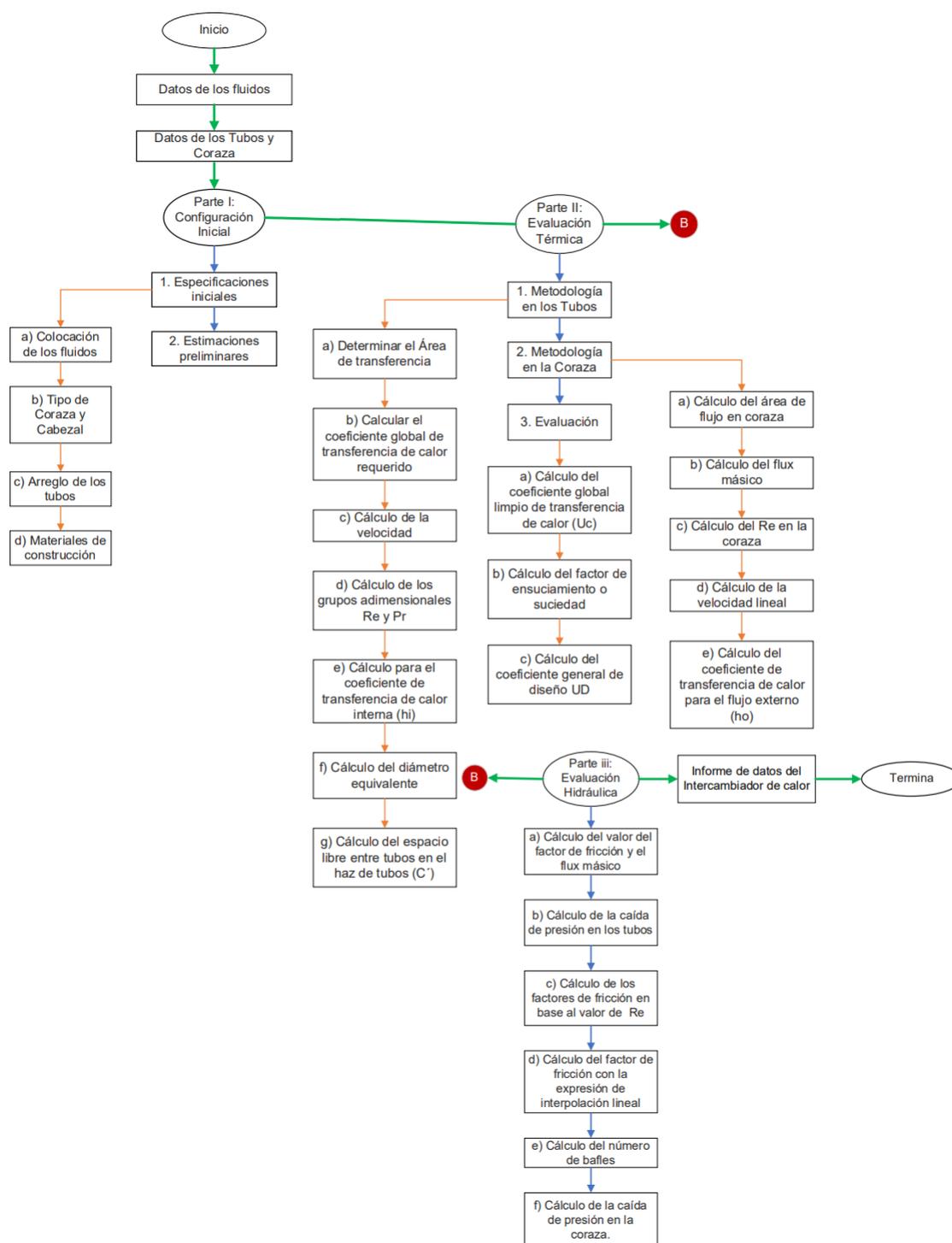


Figura 2. Diagrama de flujo para el módulo I, II, III.

El software se implementó en la plataforma Apache NetBeans 13.1, un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de código abierto y gran versatilidad que funciona en diversas plataformas, como Windows, Linux y Mac. Este IDE se utiliza para el desarrollo de aplicaciones web, corporativas, de escritorio y móviles que emplean lenguajes de programación como Java. En este caso, la aplicación se desarrolló utilizando Java Development Kit (JDK) versión 17 y Java Runtime Environment (JRE) versión 13.1. Esta elección se basó en la filosofía de aprovechar las ventajas de la programación visual, que incluye la creación de interfaces gráficas (ventanas, menús, iconos, cuadros de diálogo, entre otros). Se optó por JavaFX, que proporciona una serie de gráficos predefinidos que pueden animarse, resultando especialmente útiles para visualizar cambios en los valores presentados en un gráfico [28].

El software está conformado por 3 Módulos (ver Figura 2): Simulación, Evaluación y Diseño. En el Módulo I: Simulación, permite calcular el Área de Transferencia de Calor en los Tubos, de acuerdo con las condiciones de servicio y a la configuración del valor de su geometría. La simulación puede ser adecuada para diferentes fluidos, a diferentes temperaturas y a diferentes caudales, lo anterior se realiza teniendo como variables conocidas la capacidad calorífica de ambos fluidos, la longitud de los tubos, número de los tubos y diámetro externo de los tubos.

En el Módulo II: Evaluación, permite llevar a cabo la evaluación de un Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza, teniendo en cuenta las condiciones de servicio y la configuración geométrica requerida. En este apartado, se incluyen de forma implícita tres submódulos: uno para evaluar la variación del coeficiente de transferencia de calor en los tubos (hi) al modificar el número de pasos, otro para determinar la adecuación térmica del intercambiador, y un tercer submódulo para evaluar la adecuación tanto térmica como hidráulica del intercambiador. Se realiza una evaluación de la variación del coeficiente de transferencia de calor en los tubos (hi) considerando distintos números de pasos disponibles en el software, que son 2, 4 y 6 pasos. Además, se proporcionan los valores correspondientes del Reynolds, la velocidad másica y la velocidad lineal en los tubos al finalizar la ejecución del programa, en función del número de pasos seleccionados. Como resultados, se obtienen el coeficiente global de transferencia de calor requerido, de diseño y limpio, junto con los valores de sobre diseño y sobre dimensionamiento. También se determinan las caídas de presión por fricción en los cabezales y las boquillas tanto para los tubos como para la coraza.

En el Módulo III: Diseño, se lleva a cabo el dimensionamiento del Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza, basándose en los fluidos y condiciones de operación seleccionados. Para realizar este proceso, es esencial estar familiarizado con las variables mencionadas hasta este punto, así como con el material de construcción de los tubos y la coraza, la conductividad térmica del material en la coraza, el tipo y valor del arreglo, la disposición de los fluidos, los diámetros interno y externo de los tubos, y el valor de la caída de presión máxima para ambos fluidos utilizados.

4. Resultados

Se muestra la evaluación de la capacidad de cálculo del programa a través de la ejecución de un ejemplo bibliográfico (ejercicio 5.1 de la 1ra Edición de “*Process Heat Transfer: Principles and Applications*” de Serth Robert W.), con el propósito de verificar la precisión de los resultados. Asimismo, se calculó el error obtenido en este software y se realizó una comparación con los cálculos manuales.

El problema en cuestión indica que se tiene una corriente de 45000 lb/h que va a ser enfriadas de 390°F a 250°F en un intercambiador de calor con 150000 lb/h de un aceite crudo a 100°F. Se permite una caída de presión de 15psi para cada corriente y se tiene un factor de ensuciamiento de 0.003 h ft²°F/BTU recomendado. Además, se cuentan con las propiedades físicas para ambas sustancias como lo son el C_p , k , μ , gravedad específica y número de Prandtl. Para solucionar el problema se establecieron las siguientes consideraciones: Colocación de fluidos, Tipos de coraza y cabeza, Tubería, Disposición del tubo y Materiales de construcción. Posteriormente se realizó la simulación con el software desarrollado en este trabajo.

El sistema se ejecutó correctamente en un sistema de cómputo que cuenta con las siguientes características:

- Java™ Standard Edition Runtime Environment (JRE) 8 Update 341.
- Memoria RAM instalada de 12GB.
- Procesador: AMD A12-9700P RADEON R7, 10 COMPUTE CORES 4C+6G 2.50 GHz.
- Sistema Operativo: Microsoft Windows 10 Home Single Language.
- Espacio en disco duro: 80 MB de espacio libre.
- Resolución de pantalla: 1366*768 pixeles.
- Tipo de Sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64.

Al iniciar el sistema, se presenta la pantalla principal con una variedad de módulos disponibles como se aprecia en Figura 3, donde se encuentran los módulos disponibles para utilizar (simulación, evaluación y diseño), así como también el apartado de “Acerca de” y la opción de ayuda.

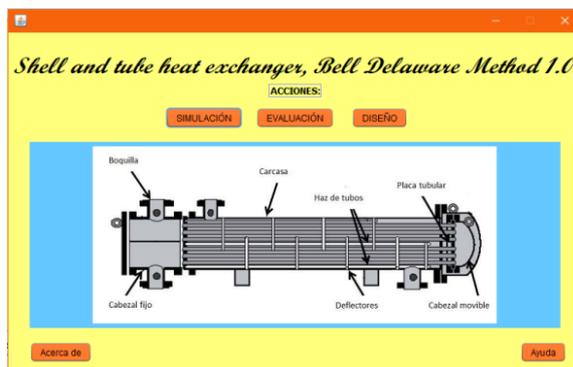


Figura 3. Pantalla Principal del software.

Dentro del módulo de diseño, se presentan dos pestañas (UNIDADES e INFORMACIÓN) como se observa en la Figura 4. En la pestaña “UNIDADES”, se detallan las unidades utilizadas por el programa, las cuales están basadas en el sistema inglés. Además, se indican las unidades correspondientes a cada parámetro empleado en el software. Por otro lado, en la pestaña “INFORMACIÓN”, se proporcionan los campos para ingresar los datos generales del usuario y los detalles del ejercicio o problema a resolver en este módulo. Una vez se haya completado la introducción de toda la información necesaria, se procede a hacer clic en el botón “Aceptar”.

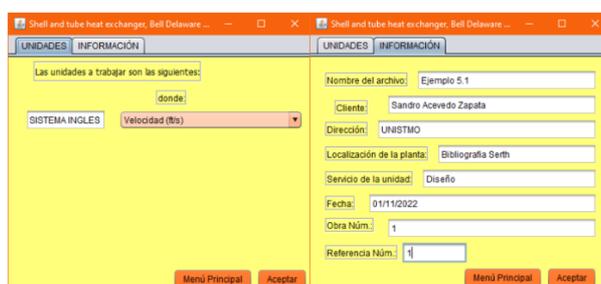


Figura 4. Unidades de cálculo y datos generales.

Una vez que se despliega la pantalla destinada a la introducción de los datos del problema, es necesario seleccionar qué datos se conocen, asegurándose de que coincidan con las unidades requeridas. En caso contrario, es posible llevar a cabo conversiones en la sección de “Conversiones”. Una vez completado este paso, se procede a avanzar haciendo clic en el botón "Siguiente paso". Luego, se continúa con las especificaciones iniciales, tales como la disposición de los fluidos, los tipos de cabezas y coraza, los arreglos de los tubos y los materiales de construcción, tal y como se ilustra en las Figuras 5, 6, 7, 8 y 9.

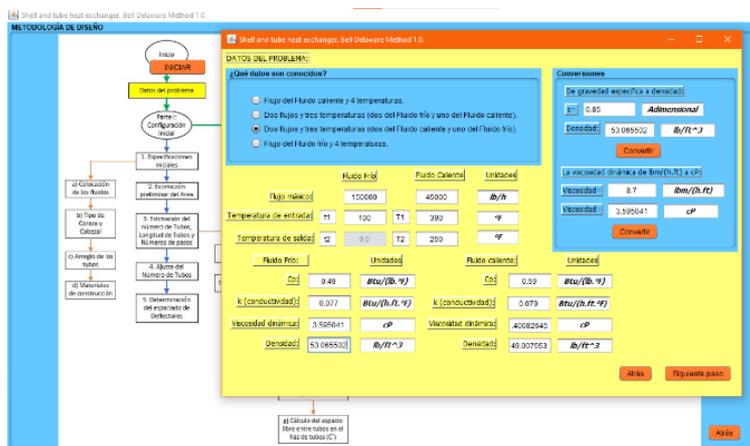


Figura 5. Ventana donde se proporciona los Datos del Problema.

Figura 6. Colocación de los Fluidos.

Figura 7. Tipos de Cabezas y Coraza utilizada (Tipo AES).

Figura 8. Arreglo de los Tubos.

Figura 9. Materiales de Construcción para los Tubos y la Coraza.

En la Figura 10, se establecen previamente los valores iniciales, y se realizan todas las estimaciones preliminares, tal como se observa en la Figura 11. Esto incluye tanto el área como el número de tubos, la longitud de los tubos y el número de pasos. Además, se requerirán datos como el calibre, el diámetro interno y externo de los tubos a utilizar, así como la relación L/DS . Para este caso, se puede tomar como referencia un punto intermedio del rango (5 a 10), y se establece $L/DS = 8$ para realizar la determinación del número de Reynolds en función del número de pasos.

Posteriormente, será necesario realizar el ajuste del número de tubos (Figura 12). Esto permitirá utilizar un número de tubos correcto junto con su respectivo diámetro de coraza, los cuales se muestran en las tablas de diseño establecidas comercialmente esta información puede ser obtenida mediante el botón “Ver tabla”.

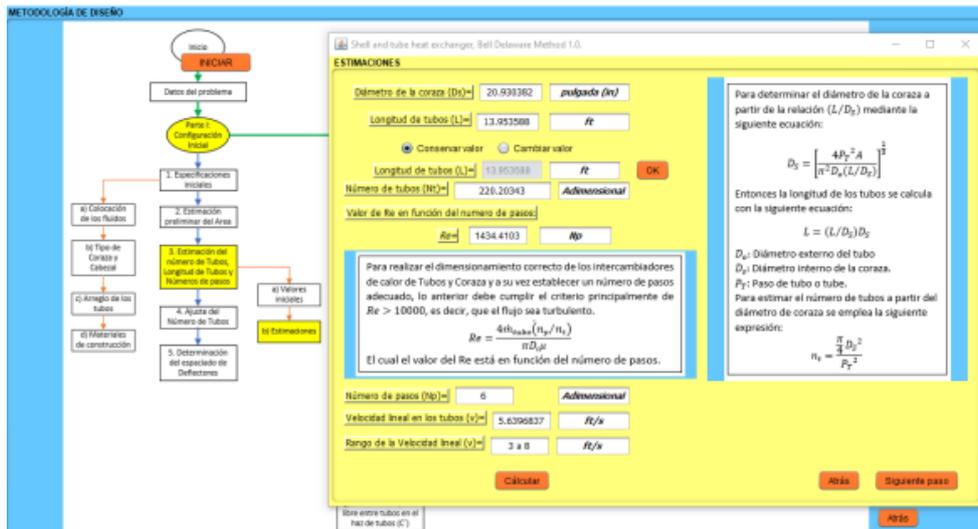


Figura 10. Ventana de los valores iniciales para los Tubos.

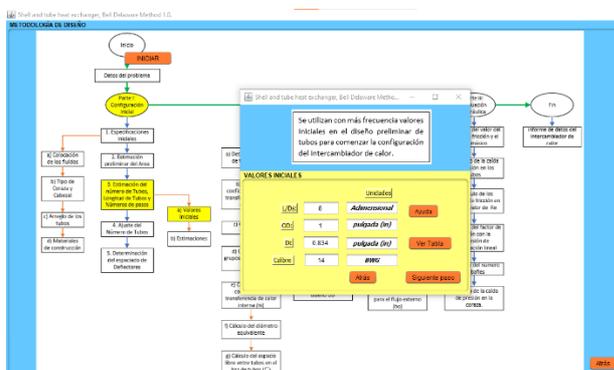


Figura 11. Estimaciones preliminares.

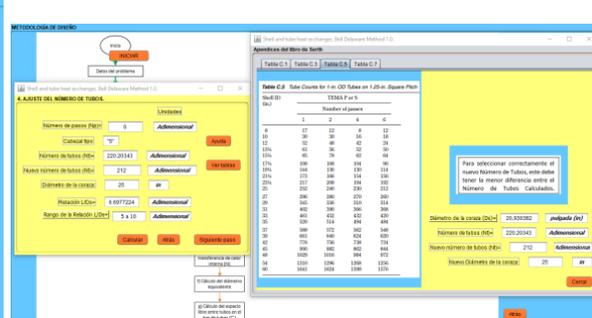


Figura 12. Ventana para el Ajuste de los Tubos.

Siguiendo con los resultados, se establece el espaciado de deflectores a través de la gráfica disponible en el software el cual se visualiza al presionar el botón “ver figura”. Dependiendo del diámetro de la coraza, se proporciona un corte más adecuado, como se puede observar en la Figura 13.

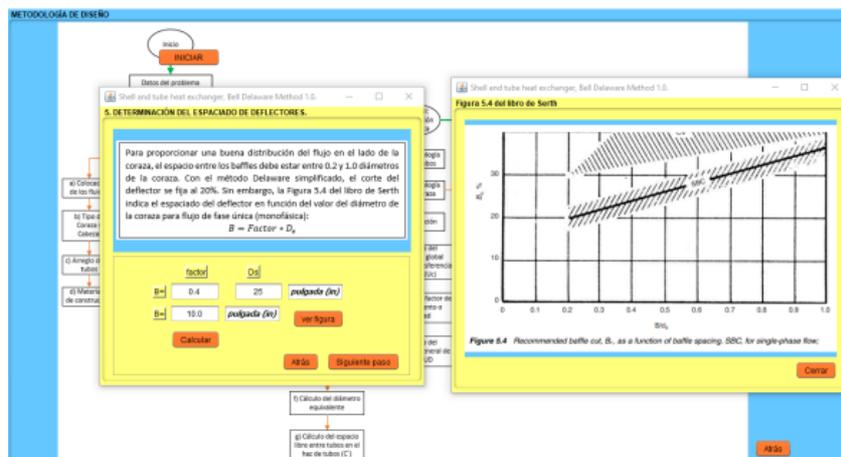


Figura 13. Ventana del Espaciado de Deflectores.

En la sección de evaluación térmica, en la ventana de la Figura 14, se presentan las metodologías que deben seguirse de manera estricta (acomodadas jerárquicamente 1°, 2° y 3°). De lo contrario, se obtendrán resultados erróneos. Una vez finalizada la evaluación térmica, se procede con la evaluación hidráulica.

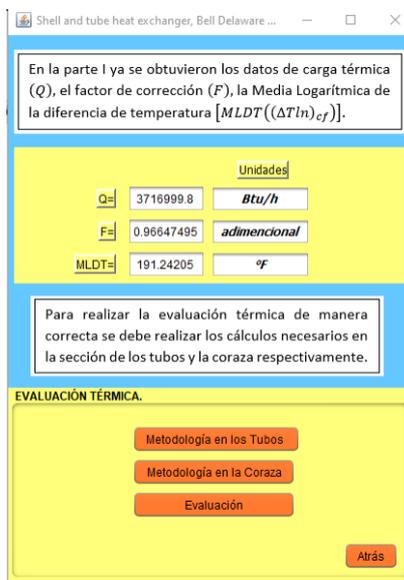


Figura 14. Metodología para Evaluación Térmica del Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza.

Al continuar con la evaluación hidráulica, se muestra una ventana en la cual es necesario completar ciertos datos para calcular las caídas de presión debidas al cambio de dirección en los tubos (ver Figura 15). En [29] considera este valor despreciable y no relevante para su cálculo, ya que es muy pequeño en comparación con otras pérdidas. Sin embargo, en este sistema, ningún valor es considerado despreciable; todos son tomados en cuenta para lograr resultados confiables y reducir errores. Previamente a esta etapa, se realiza la determinación del diámetro de la boquilla.

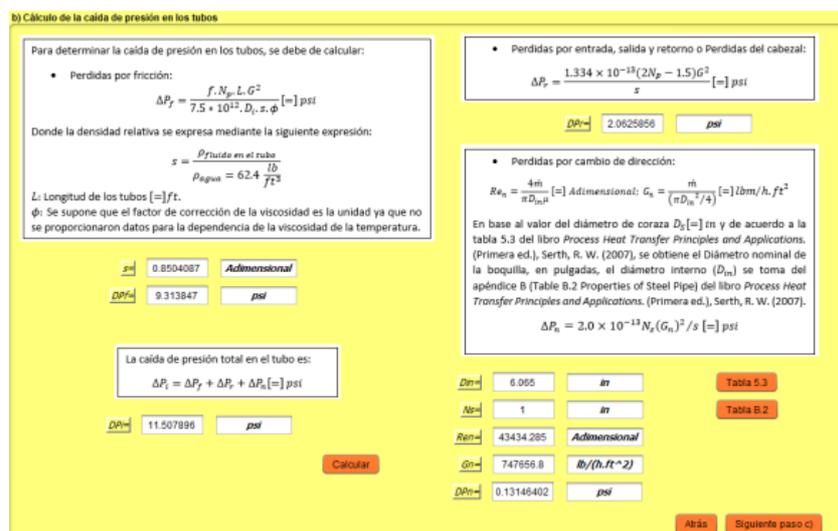


Figura 15. Ventana del cálculo de la caída de presión en los tubos.

A diferencia del cálculo de la caída de presión total en los tubos, la caída de presión total en la coraza no requiere de ninguna intervención del usuario ya que recopila toda la información previamente proporcionada en pasos anteriores y determina la caída de presión total en la coraza (ver Figura 16), culminado los cálculos térmicos e hidráulicos del intercambiador el software permite observar los datos suministrados y los resultados obtenidos del diseño para su interpretación por el usuario; para ello es necesario presionar sobre el botón “Imprimir resultados”.

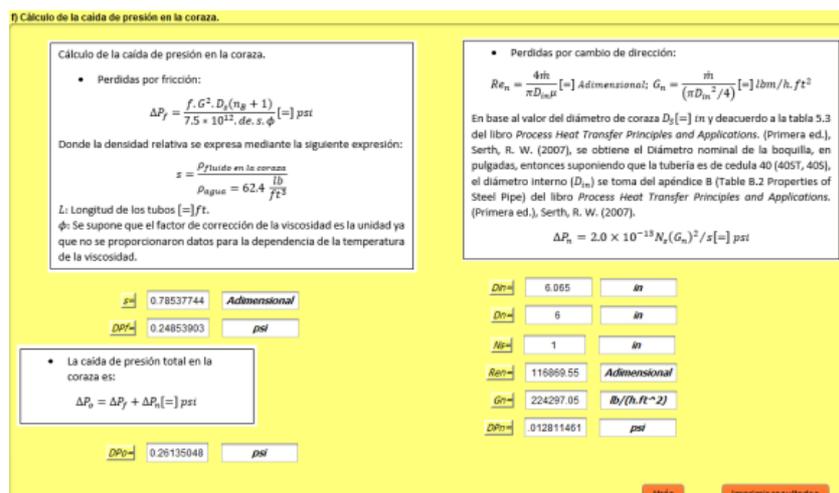


Figura 16. Ventana del Cálculo de la caída de presión en la coraza.

En la Figura 17 se presentan los resultados obtenidos mediante el software desarrollado en este proyecto, junto con las posibles soluciones que permitan ajustarse a las especificaciones requeridas.

- Se observa un sobre diseño del 31.5%, lo cual indica dimensiones excesivas del intercambiador y resulta desaconsejable para su implementación en el servicio.
- La superficie obtenida, equivalente al 62.6%, refleja un valor inusualmente alto. Lo recomendado es que esta cifra se encuentre en el rango del 20% al 40%. Optar por un intercambiador con esta área de transferencia de calor generará un aumento en los costos de operación debido a la excesiva superficie de transferencia.
- El valor del número de Reynolds calculado en el lado de los tubos se sitúa muy por debajo del límite mínimo requerido ($Re \geq 10000$). No obstante, la velocidad lineal del fluido en los tubos se mantiene en el rango adecuado de 3 a 8 ft/s. Esto implica que, para mantener la velocidad lineal en estos límites, el intercambiador opera con un número mayor de tubos del necesario, lo que a su vez conduce a un incremento en el diámetro de la coraza.
- El valor obtenido para el espaciado de baffles, $B = 10$ in, no cumple con el criterio establecido que indica que los baffles no deberían estar separados más de 1/5 del Diámetro Interno de la Coraza o 51 mm (2 pulgadas). Este resultado puede atribuirse al número de pasos establecido.

Basándose en el análisis previamente llevado a cabo, se llega a la conclusión de que el intercambiador no es adecuado desde el punto de vista térmico para el servicio propuesto. Aunque los coeficientes UD y UC superan a U_{req} , es importante destacar que operar el intercambiador bajo las condiciones predefinidas resultaría en un alto costo de operación, lo cual no es viable ni recomendable. Es importante mencionar que el programa da posibles soluciones:

1. Manteniendo número de pasos, diámetro de coraza y número de tubos:
Disminuir longitud de tubos.
2. Manteniendo la longitud de tubos:
Disminuir el diámetro interno de la coraza.

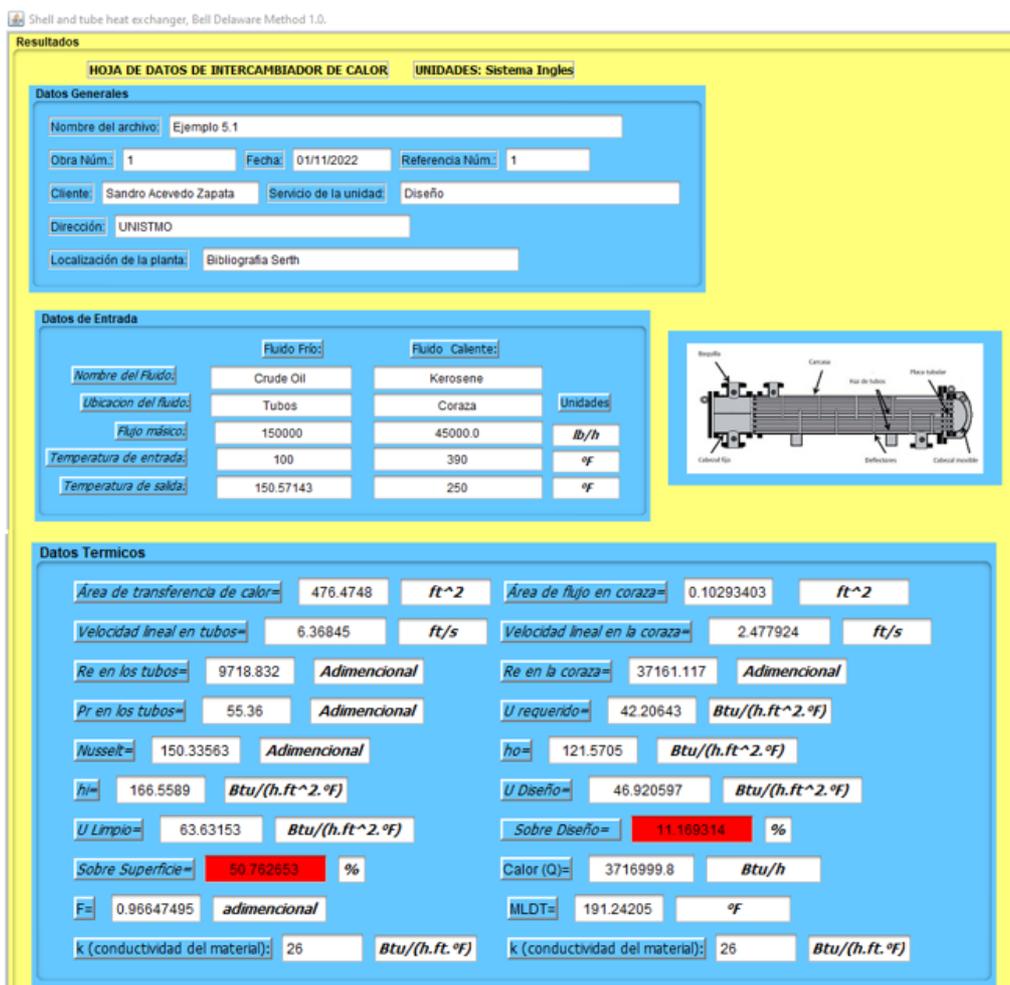


Figura 17. Resultados obtenidos con el software.

Se evidencia que el programa permite realizar ajustes a través del botón “Redimensionamiento”, con el propósito de cumplir con las especificaciones requeridas. Esto brinda al usuario la capacidad de verificar cómo las soluciones potenciales pueden proporcionar parámetros más adecuados para el servicio del intercambiador. Es importante mencionar que esta solución es solo una de las muchas posibles, y que la mejor opción dependerá de otras variables, como el entorno de operación del intercambiador. Se muestra en la Figura 18 un posible resultado obtenido después de hacer los ajustes sugeridos y que cumplen con los criterios térmico-hidráulicos.

En la Tabla 1 se muestra claramente que el error generado en la comparación de los resultados es mínimo. Dicho error es variable, ya que el software, en contraste con el procedimiento manual, utiliza todos los decimales y fórmulas para obtener los valores directamente de las gráficas, en lugar de aproximarlos mediante su lectura. Sin embargo, este margen de error no afecta de manera significativa los valores finales.

Shell and tube heat exchanger, Bell Delaware Method 1.0.

Resultados

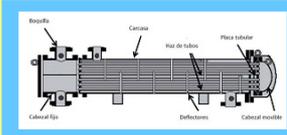
HOJA DE DATOS DE INTERCAMBIADOR DE CALOR UNIDADES: Sistema Ingles

Datos Generales

Nombre del archivo: Ejemplo 5.1
 Obra Núm.: 1 Fecha: 01/11/2022 Referencia Núm.: 1
 Cliente: Sandro Acevedo Zapata Servicio de la unidad: Diseño
 Dirección: UNISTMO
 Localización de la planta: Bibliografía Serth

Datos de Entrada

	Fluido Frío:	Fluido Caliente:	
Nombre del fluido:	Crude Oil	Kerosene	
Ubicación del fluido:	Tubos	Coraza	Unidades
Flujo másico:	150000	45000.0	lb/h
Temperatura de entrada:	100	390	°F
Temperatura de salida:	150.57143	250	°F



Datos Termicos

Área de transferencia de calor:	435.6341	ft ²	Área de flujo en coraza:	0.10293403	ft ²
Velocidad lineal en tubos:	6.38845	ft/s	Velocidad lineal en la coraza:	2.477924	ft/s
Re en los tubos:	9718.832	Adimensional	Re en la coraza:	37161.117	Adimensional
Pr en los tubos:	55.36	Adimensional	U requerido:	46.163284	Btu/(h.ft ² .°F)
Nusselt:	150.59735	Adimensional	η:	121.5705	Btu/(h.ft ² .°F)
h:	166.84886	Btu/(h.ft ² .°F)	U Diseño:	46.94816	Btu/(h.ft ² .°F)
U Limpio:	63.682224	Btu/(h.ft ² .°F)	Sobre Diseño:	1.7002106	%
Sobre Superficie:	37.949944	%	Calor (Q):	3716999.8	Btu/h
F:	0.96547495	adimensional	MLDT:	191.24295	°F
k (conductividad del material):	26	Btu/(h.ft.°F)	k (conductividad del material):	26	Btu/(h.ft.°F)

Datos Hidraulicos

Caída de presión en tubos		Caída de presión en la coraza	
Por Fricción (DPF):	6.5884094 psi	Por Fricción (DPF):	1.8880285 psi
Por Retorno (DPr):	1.5091714 psi	Por Boquillas (DPn):	0.06598222 psi
Por Boquillas (DPn):	0.67707247 psi	Total (DPo):	1.9540107 psi
Total (DPt):	8.774853 psi		

Tubos

Longitud de tubos (L): 12.8 ft
 Número de tubos (NT): 130 Adimensional
 Número de pasos (Np): 4 Adimensional
 Diámetro externo (OD): 1 pulgada (in)
 Diámetro interno (DI): 0.834 pulgada (in)
 Calibre: 14 BWG
 Material de construcción: Acero carbono

Coraza

Diámetro de la coraza: 19.25 in
 Material de construcción: Acero carbono

Baffles

Número de Baffles (NB): 38.896103 Adimensional
 % de corte: 0.2 Adimensional
 B: 3.8500001 pulgada (in)

Redimensionamiento Terminar

Figura 18. Resultados obtenidos después de hacer los ajustes.

Tabla 1. Reconfiguración de parámetros y comparación de resultados con la Bibliografía.

Datos	Bibliografía (Serth, 2007)		Software	Uds.	Error %
		Uds.			
Calor	3717000	Btu/h	3716999.8	Btu/h	5.38×10^{-6}
Fluido Caliente	Queroseno	—	Queroseno	—	—
Ubicación	Coraza	—	Coraza	—	—
Temperatura Entrada Caliente	390	°F	390	°F	—

Temperatura Salida Caliente	250	$^{\circ}F$	250	$^{\circ}F$	–
Flujo Másico Caliente	45000	lb/h	45000	lb/h	–
Fluido Frio	Petróleo	–	Petróleo	–	–
Ubicación	Tubos	–	Tubos	–	–
Temperatura Entrada Fría	100	$^{\circ}F$	100	$^{\circ}F$	–
Temperatura Salida Fría	150.6	$^{\circ}F$	150.5714	$^{\circ}F$	0.01899
Flujo Másico Frio	150000	lb/h	149998.28	lb/h	0.001146
$(\Delta Tln)_{cf}$	191.2	$^{\circ}F$	191.22974	$^{\circ}F$	0.01555
Factor de Corrección	0.97	<i>Adimensional</i>	.96645117	<i>Adimensional</i>	0.36585
Área de Transferencia	478	ft^2	474.8955	ft^2	0.6494
Número de Tubos	124	<i>Adimensional</i>	130	<i>Adimensional</i>	4.8387
Re_{tubo}	10189	<i>Adimensional</i>	9718.718	<i>Adimensional</i>	4.61558
v_{tubo}	6.7	ft/s	6.368	ft/s	4.9552
hi	156	$Btu/h ft^2 ^{\circ}F$	166.567	$Btu/h ft^2 ^{\circ}F$	6.77371
B	3.85	<i>in</i>	3.85	<i>in</i>	0
Corte	20%	–	20 %	–	0
Re_{coraza}	37158	<i>Adimensional</i>	37161.117	<i>Adimensional</i>	0.008
h_o	122	$Btu/h ft^2 ^{\circ}F$	121.5705	$Btu/h ft^2 ^{\circ}F$	0.3520
U_D	46	$Btu/h.ft^2.^{\circ}F$	46.92	$Btu/h.ft^2.^{\circ}F$	2.0
U_C	62	$Btu/h.ft^2.^{\circ}F$	63.6330	$Btu/h.ft^2.^{\circ}F$	2.633870
U_{req}	44	$Btu/h.ft^2.^{\circ}F$	42.34687	$Btu/h.ft^2.^{\circ}F$	3.75711
Diámetro de la Coraza	19.25	<i>in</i>	19.25	<i>in</i>	0
Sobre Superficie	41 %	–	50.26622	–	22.60053
Sobre Diseño	4.5 %	–	10.8025	–	140.0555
Longitud de los tubos	14	ft	13.9535	ft	0.3321
Diámetro de los tubos	1	<i>in</i>	1	<i>in</i>	0
Espesor	14	<i>BWG</i>	13.9535	<i>BWG</i>	0.332142
P_T	1.25	<i>in</i>	1.25	<i>in</i>	0
Arreglo	Cuadrado	–	Cuadrado	–	–
Pasos por los Tubos	4	–	4	–	0

Fuente: Elaboración propia.

Las discrepancias identificadas pueden atribuirse al empleo de un mayor número de cifras significativas en el software en comparación con los resultados reportados en la bibliografía. Es posible que la variabilidad en la precisión numérica, así como las diferencias en la implementación algorítmica, hayan contribuido a las divergencias observadas entre los resultados obtenidos por el software y aquellos documentados en la bibliografía.

El Cuestionario SUS (*System Usability Scale*) desarrollado en [26] se ha utilizado ampliamente en la evaluación de interfaces de usuario, software y productos diversos, es una herramienta estandarizada la cual proporciona una métrica cuantitativa de la percepción del usuario sobre la usabilidad de un sistema, las preguntas se formulan en un formato de escala Likert, donde los usuarios deben indicar su grado de acuerdo o desacuerdo. Consta de 10 preguntas con escalas de respuesta que pueden ser: (1) Totalmente en desacuerdo, (2) En desacuerdo, (3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo, (4) De acuerdo y (5) Totalmente de acuerdo. Las preguntas abordan aspectos de usabilidad, eficiencia y satisfacción del usuario. Las respuestas se califican en una escala de 0 a 4, el puntaje total puede variar de 0 a 100, donde puntajes más altos indican una mejor usabilidad percibida.

La obtención de los resultados de esta prueba se realizó siguiendo las reglas establecidas por el SUS [26], las cuales son las siguientes:

- Para las preguntas impares, se toma el valor asignado por el usuario y se le resta 1.
- En cuanto a las preguntas pares, se resta al número 5 el valor designado por los usuarios.
- Finalmente, una vez obtenida la calificación ajustada, se multiplica por 2.5 para obtener el puntaje final.

Según los resultados de la prueba SUS (ver Tabla 2), se considera que un puntaje superior a 68 puntos está por encima del promedio, mientras que cualquier valor inferior a 68 puntos se sitúa por debajo del promedio. Es evidente que todos los usuarios evaluados obtuvieron puntuaciones por encima de la media.

Tabla 2. Resultados de la prueba SUS.

Preguntas / Evaluadores	Usuarios													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Creo que me gustaría utilizar este software con frecuencia.	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	2	4
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo.	4	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3
3. Creo que el sistema es fácil de usar.	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4
4. Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para poder utilizar esta aplicación.	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4
5. Las funciones de este sistema están bien integradas.	4	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3
6. Creo que el sistema es fácil de aprender usar.	4	3	1	2	2	4	4	1	2	4	1	4	3	4
7. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a utilizar este sistema muy rápidamente.	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
8. Encontré el sistema muy complicado de usar.	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4
9. Me sentí muy seguro al usar el sistema.	4	4	2	2	2	4	3	4	4	4	2	4	3	3
10. Necesitaría aprender muchas cosas antes de poder ponerme en marcha con este sistema.	3	3	4	4	4	4	3	2	4	3	4	4	3	3
Total	37	33	35	35	33	38	34	33	36	36	35	39	32	36
Puntaje SUS: Total * 2.5	92.5	82.5	87.5	87.5	82.5	95	85	82.5	90	90	87.5	97.5	80	90

El promedio del puntaje SUS de los catorce usuarios es de 87.85 puntos, siendo 12 de ellos alumnos y 2 profesores. Este resultado supera el promedio sugerido de 68 puntos. Esto indica que la usabilidad del software se clasifica como “aceptable” según la evaluación de los usuarios.

5. Conclusiones

El presente trabajo se centra en la creación de la Herramienta Educativa: Software Didáctico en la Enseñanza de Ingeniería en Intercambiadores de Calor, utilizando la metodología Diseño Centrado en el Usuario (DCU). El objetivo es proporcionar un recurso efectivo para apoyar el aprendizaje de conceptos fundamentales en el campo de los intercambiadores de calor. A través de un análisis contextual, se identificaron las necesidades y el perfil de los estudiantes en relación con la enseñanza de este tema específico.

La Herramienta busca brindar a los estudiantes la oportunidad de experimentar de manera interactiva y dinámica los procesos y cálculos relacionados con los intercambiadores de calor. La colaboración directa con los estudiantes y docentes en el proceso de diseño permitió adaptar y definir los conceptos clave que se abordarían en la herramienta. Además, se encamina en brindar un enfoque específico para la enseñanza de los conceptos fundamentales de esta disciplina. El diseño centrado en el usuario garantiza que los requisitos y las funcionalidades se adaptan a las necesidades reales de los estudiantes y profesores.

Con el desarrollo de este software se creó una herramienta versátil, la cual bajo unos parámetros iniciales realiza el Dimensionamiento, Simulación y/o Evaluación de un intercambiador de coraza y tubos, el cual obtiene los datos necesarios para su implementación, minimizando el tiempo de cálculo, de este modo, se vuelve en una herramienta alternativa de cálculo de gran utilidad, ya que permite comprender, analizar y determinar el comportamiento de los intercambiadores de calor.

Como parte de futuras investigaciones, se prevé realizar una evaluación exhaustiva de la usabilidad y el impacto de la Herramienta Educativa. Esta iniciativa busca enriquecer la experiencia educativa en este campo y continuar proporcionando una herramienta innovadora y práctica para el aprendizaje y la formación.

7. Referencias

- [1] Saavedra García, M. L., Sánchez, B. T. (2013). El uso de las tecnologías de información y comunicación TIC en las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPyME) industriales mexicanas. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, tecnología y conocimiento*, 10 (1), 85-104 .
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=82326270007>
- [2] Verdugo Alonso, M. Á. (2023). El cambio educativo desde una perspectiva de calidad de vida. *Revista de Educación*, 349, 23-43. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2995002>
- [3] González Mariño, J. C. (2008). TIC y la transformación de la práctica educativa en el contexto de las sociedades del conocimiento. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 5 (2), 1-8.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78011201003>
- [4] Murillo, G. (2020). Estrategias educativas y tecnología digital en el proceso enseñanza aprendizaje. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 61 (1), 114-129.
http://www.scielo.org.bo/pdf/chc/v61n1/v61n1_a10.pdf
- [5] Rafael. (2020). *¿Qué son las estrategias de enseñanza educativas?*
<https://educacioneinvestigacion.com/que-son-las-estrategias-de-ensenanza/>
- [6] Sánchez, K., Salinas, S. A. (2015). Prototipo de simulador software electromecánico del pulmón. *Puente. Revista Científica*, 9 (1), 31-37. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/7277>
- [7] Osorio Villa, P. A., Ángel Franco, M. B., Franco Jaramillo, A. (2012). El uso de simuladores educativos para el desarrollo de competencias en la formación universitaria de pregrado. *Revista Q*, 7 (13), 1-23.
<http://hdl.handle.net/20.500.11912/6775>
- [8] Pérez-Higuera, G. D., Niño-Vega, J. A., Fernández-Morales, F. H. (2020). Estrategia pedagógica basada en simuladores para potenciar las competencias de solución de problemas de física. *Aibi Revista De investigación, administración E ingeniería*, 8 (3), 17-23. <https://doi.org/10.15649/2346030X.863>
- [9] Bonilla Trujillo, D., Villamil Reyes, V. V., Montes Mora, J. F. (2019). Uso de simuladores 3D como estrategia tecnopedagógica para la transferencia de conocimiento en el aprendizaje de la anatomía animal. *Documentos de trabajo ECAPMA*, 3 (1), 1-12. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.3414>
- [10] Chan Chi, G. I., Cab Canul, M. G., Ayil Carrillo, J. S. (2019). Curso virtual para la enseñanza de una asignatura de desarrollo personal. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 7 (13), 61-69. <https://riti.es/index.php/riti/article/view/123>

- [11] Lozano Ramírez, M. C. (2019). Aprendizaje social basado en el uso de dispositivos móviles. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 7 (13), 48-52.
<https://riti.es/index.php/riti/article/view/121>
- [12] Sosa Galindo, J. B., Ruiz Rodríguez, J., Covarrubias Flores, J. A. (2018). Influencia de los videojuegos en los estudiantes de educación superior. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 6 (11), 55-60.
<https://doi.org/10.36825/RITI.06.11.009>
- [13] Jauregui Sánchez, M. R., Valencia Moreno, J. M., Caro, K. (2022). Diseño de un videojuego para el aprendizaje de conceptos sobre el emprendimiento. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 10 (22), 31-48. <https://doi.org/10.36825/RITI.10.22.003>
- [14] Urueta Vélez, L. M. (2019). Estrategias de enseñanza y el uso de las tecnologías de información y comunicación en las instituciones educativas departamentales en el Municipio Zona Bananera–Colombia. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4 (7), 185-201.
<https://www.redalyc.org/journal/5768/576869546010/576869546010.pdf>
- [15] Newbery-Jones, C. (2016). Ethical experiments with the D-pad: exploring the potential of video games as a phenomenological tool for experiential legal education. *The Law Teacher*, 50 (1), 61–81.
<https://doi.org/10.1080/03069400.2016.1146465>
- [16] Carrión-Paredes, F. A., García-Herrera, D. G., Erazo-Álvarez, C. E., Erazo-Álvarez, J. C. (2020). Simulador virtual PhET como estrategia metodológica para el aprendizaje de Química. *CIENCIAMATRIA*, 6 (3), 193-216.
<https://doi.org/10.35381/cm.v6i3.396>
- [17] Fernández Villacrés, G. E. (2020). Macro simulador digital como recurso didáctico en la carrera de Medicina de la Universidad UNIANDES. *Universidad Y Sociedad*, 12 (S(1)), 427–433.
<https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1874>
- [18] Burbano Rojas, S. P. (2014). *Diseño de un módulo didáctico de intercambiador de calor de coraza y tubos* [Tesis de Grado]. Universidad Santo Tomás, Bogotá. <https://hdl.handle.net/11634/719>
- [19] Galvis Díaz, A., Pacheco Zuñiga, D. J. (2014). *Diseño de un intercambiador de calor coraza y tubos para optimizar el margen de refinación en la unidad de destilación combinada de la refinería de Cartagena (RCSA)* [Tesis de Grado]. Universidad San Buenaventura, Cartagena. <http://hdl.handle.net/10819/2796>
- [20] Martínez Huertas, D. F. (2017). *Diseño de software para intercambiadores de calor de coraza y tubos con cinco sustancias diferentes* [Tesis de Grado]. Universidad Los Libertadores, Bogotá.
<http://hdl.handle.net/11371/1162>
- [21] Palacios Reyes, H. G., Vargas López, J. F. (2021). *Diseño y Simulación de un intercambiador de calor de tubos y coraza en el software solidwork* [Tesis de Grado]. Universidad Antonio Nariño, Villavicencio, Colombia. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2561>
- [22] Bedoya Brusil, M. J. (2022). *Programación y diseño de una interfaz gráfica para la modelación y el dimensionamiento de intercambiadores de calor de tipo coraza y tubos* [Tesis de Grado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/17724>
- [23] Pressman, R. S. (2005). *Software engineering: a practitioner's approach*. Palgrave Macmillan.
- [24] ANENOR. (2000). *UNE EN ISO 13407 Procesos de diseño para sistemas interactivos centrados en el operador humano (ISO 13407: 1999)*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0023082>
- [25] Brooke, J. (1996). *SUS: A "quick and dirty" usability scale*. In *Usability evaluation in industry*. Taylor & Francis.
- [26] Nielsen, J., Landauer, T. K. (1993). *A Mathematical Modelo of the Finding of Usability Problems*. Conference on Human Factors in Computing, Amsterdam, The Netherlands (INTERCHI93), Amsterdam.
<https://doi.org/10.1145/169059.169166>
- [27] Mendoza Mendoza, K. (2018). *Desarrollo de un software para el diseño térmico de intercambiadores de calor* [Tesis de Maestría]. (2018). Universidad Autónoma de México.
<https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000769519>
- [28] NetBeans. (2021). *Apache NetBeans*. <https://netbeans.apache.org/tutorials/72/nbm-javafx.html>
- [29] Lestina, T., Serth, R. W. (2007). *Process heat transfer principles and application* (1st Ed.). Academic Press.