



Desarrollar la repotenciación y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el equipo Transferencia de Calor agua-aceite del laboratorio de Conversión de la Energía

Eras Arcos, Erick Fernando y Heredia Calero, Fausto David

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Villavicencio Poveda Ángelo Homero Msc.

1 de marzo del 2024



Plagiarism report

Desarrollar la repotenciación y el dis...

Scan details

Scan time: February 27th, 2024 at 0:49 UTC

Total Pages:
55

Total Words:
13638

Plagiarism Detection



| Types of plagiarism | | Words |
|---------------------|------|-------|
| Identical | 1.2% | 168 |
| Minor Changes | 0.5% | 70 |
| Paraphrased | 0% | 0 |
| Omitted Words | 1.5% | 202 |

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (8)

T-ESPE-052574.pdf 0.5%

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/33262/1/t-espe-052574.pdf>

gdyeppez@espe.edu.ec

1 Diseño y construcción de un banco de pruebas de un sistema de refrigeración Benavides Gallegos, Joel Sebastian; Chávez Guerrero, Brya...

Olivera Bejar.pdf?sequence=1&isAllowed=y 0.5%

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3647/olivera%20bejar.pdf?sequence=1&isall...>

USER

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA TESIS: CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL INTERIOR DE UN BIO DIGES...

T-ESPEL-MEC-0274.pdf 0.3%

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/35774/1/t-espel-mec-0274.pdf>

GREGORY JOSUE DAVALOS CARRILLO

1 Repotenciación, diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos del equipo Bomba Calorimétrica Adiabática, para el análi...

Ing-Electromecanica 12-12-13 Adscripcion TextoDeEnsenanzaParaLaAsign... 0.2%

<https://pdfcoffee.com/ing-electromecanica-12-12-13-adscripcion-textodeensenanzaparaalaasignaturadetransf...>

Guest

Email: Login Register English Deutsch Español Français Português Hom...



Ing. Villavicencio Poveda, Ángelo Homero
C.C.:1709338931

Certified by
Copyleaks

About this report
help.copyleaks.com

copyleaks.com
in f o t



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular, "**Desarrollar la repotenciación y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el equipo Transferencia de Calor agua-aceite del laboratorio de Conversión de la Energía**" fue realizado por los señores **Eras Arcos, Erick Fernando y Heredia Calero, Fausto David**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 1 de marzo del 2024



Ing. Villavicencio Poveda, Ángel Homero

C.C.: 1709338931



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Eras Arcos, Erick Fernando y Heredia Calero, Fausto David**, con cédulas de ciudadanía n° 1753043866 y n° 0503625063, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Desarrollar la repotenciación y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el equipo Transferencia de Calor agua-aceite del laboratorio de Conversión de la Energía”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas

Sangolquí, 1 de marzo del 2024

Eras Arcos, Erick Fernando

C.C.: 1753043866

Heredia Calero, Fausto David

C.C.: 0503625063



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Autorización de publicación

Nosotros, **Eras Arcos, Erick Fernando y Heredia Calero, Fausto David**, con cédulas de ciudadanía n° 1753043866 y n° 0503625063, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Desarrollar la repotenciación y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el equipo Transferencia de Calor agua-aceite del laboratorio de Conversión de la Energía”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 1 de marzo del 2024

Eras Arcos, Erick Fernando

C.C.: 1753043866

Heredia Calero, Fausto David

C.C.: 0503625063

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación va dedicado hacia mi familia, quienes con su amor y apoyo me permitieron seguir adelante y afrontar todo tipo de circunstancia en mi formación como profesional. A mi madre María, quien fue un claro ejemplo a seguir, guiándome por los caminos correctos y su amor para permitirme seguir adelante cada día.

A mi padre Danny, quien siempre me ayudo a tomar las decisiones correctas y estuvo alentándome que cada día siga luchando por conseguir mis metas y enorgullecer a mi madre quien es la persona más importante en nuestras vidas.

A mi hermana Jennifer, quien desde muy pequeños fue persona que siempre estuvo a mi lado en todo momento cuidándome y apoyándome a seguir adelante.

A mi sobrino Bruno, quien espero ser un ejemplo a seguir y se sienta orgulloso de mi esfuerzo por llegar a cumplir mi sueño de ser profesional.

A mi abuelito Víctor quien descansa en paz y a mi abuelita Juana, quienes estuvieron apoyándome a lo largo de mi formación como profesional dándome consejos y experiencias.

Al resto de mi familia y amigos, quienes siempre me brindaron sus anhelos y consejos para seguir adelante cada día y llegar a cumplir mis metas con el mayor de los éxitos.

Eras Arcos, Erick Fernando

Dedico el presente trabajo de titulación a mi madre Luz María Calero, quien es mi motivación día a día, para seguir alcanzando mis objetivos, quién es un ejemplo de lucha y me guía constantemente.

A mi ñaña Nicole que con sus palabras me alentó en todo este trayecto de mi formación profesional y nunca dejo de creer en mí.

A Christian quien está pendiente de que nunca me falte nada y me dio la oportunidad de trabajar en su empresa para obtener experiencias nuevas.

A mis tíos José y Eugenia quienes han sido como mis segundos padres y están siempre al pendiente de mi con sus consejos que nunca faltan.

A Jenny quien siempre me brindo su apoyo, cariño incondicional para lograr una de mis metas.

A mis mejores amigos Chicho y Luis con quienes siempre están para las buenas, en las malas, con su amistad son un pilar incondicional y estuvieron desde el inicio animándome, apoyándome quienes no me han dejado que me rinda durante este trayecto, un parde locos que estaré agradecido de haberlos conocido, haber formado nuestro proyecto de música independiente este trabajo es para ustedes muchachos.

A Santiago Magdalena Rigoberto con quienes comparto todos los días y me han apoyado siempre.

A Elizabeth que estuvo en los mejores momentos, quien fue un pilar fundamental para culminar con la carrera y esté presente trabajo de titulación.

A Gissbel y Dante quienes fueron un motivo por el cual luche sin cansancio y estuvieron ahí siempre en mi mente y corazón de este presente trabajo.

Heredia Calero, Fausto David

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios y a mis padres por darme la vida y cuidarme hasta el día de hoy permitiéndome cumplir el sueño de ser profesional y culminar una etapa importante en mi vida.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, y a sus docentes en el área de ciencias de la energía y mecánica, quienes influyeron en mi formación como profesional y me compartieron sus conocimientos y experiencias para afrontar todo tipo de problemas y dar soluciones de la mejor manera posible en mi vida profesional.

A nuestro tutor Ing. Ángelo Villavicencio por darnos la oportunidad de realizar el presente trabajo de titulación bajo su tutela, guiándonos de la mejor manera posible con el propósito de cumplir con los objetivos planteados.

Al Ing. Roberto Buenaño encargado del laboratorio de termodinámica, quien con amabilidad y compañerismo nos permitió el uso de máquinas y herramientas de trabajo para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A David quien además de ser mi compañero en el presente trabajo de titulación ha demostrado ser un excelente compañero en la vida debido a su compromiso y dedicación por cumplir objetivos y metas.

Eras Arcos, Erick Fernando

Agradezco al niño de Isinche, agradezco a todas las personas que han confiado en mí a lo largo de esta trayectoria, especialmente a mi madre quien día a día a luchado para sacarme adelante y que nunca me falte nada.

Le doy gracias a Cristian Guzmán quien más que un amigo es un hermano me ha apoyado en todo y con sus consejos está ahí nunca ha dejado que me rinda, siendo un pilar importante en mi formación académica y personal, agradecido de haberlo conocido doctor.

Agradecido de haber contado con una persona que estuvo desde los inicios Enny, quien con su apoyo me animo día a día hasta lograr este objetivo quién es un ejemplo de lucha constante y nunca se rinde.

A mis amigos de la carrera Alejandro Grijalva, Alejandra Yaruscuán, Alicia Cevallos, Anderson Cedillo, David León, Jhonny Casamen, Jorge Villavicencio y Pablo Hernández, con quienes compartimos buenos momentos en el transcurso de toda la vida universitaria quienes forman una parte fundamental en el proceso.

A Allison Diaz una persona que me ayudo a salir de la depresión que tuve en un punto de la carrera y no permitió que abandone mis objetivos hasta cumplir todo lo que me propuse y culminar con el presente proyecto, demostrando la amistad en todo su esplendor.

A Mishelle Muñoz, quien me ayudo bastante en el transcurso de la carrera, quien con sus locuras me alegro los días ganándose mi respeto y cariño.

A nuestro tutor Ángelo Villavicencio quien nos permitió fortalecer nuestros conocimientos con el presente trabajo de titulación.

Al ingeniero Roberto Buenaño quien con sus consejos nos enseña las funciones en el laboratorio de energías quien nos guía y nos anima a ser mejores cada día.

A Edgar quien me brindo su amistad desde que iniciamos este largo trayecto el cual nos hemos apoyado y animado cada paso que hemos dado.

A Erick quien ha demostrado ser un gran compañero y ahora un gran amigo con el que hemos logrado culminar este trabajo, el mismo que demuestra compromiso y dedicación a todo lo que hace durante sus actividades.

Heredia Calero, Fausto David

Índice de contenido

| | |
|--|----|
| Dedicatoria..... | 6 |
| Agradecimiento..... | 8 |
| Glosario de términos..... | 23 |
| Resumen..... | 25 |
| Abstract..... | 26 |
| Capítulo I Generalidades..... | 27 |
| Introducción..... | 27 |
| Antecedentes..... | 27 |
| Definición del problema..... | 30 |
| Justificación..... | 30 |
| Objetivos..... | 31 |
| Objetivo general..... | 31 |
| Objetivos específicos..... | 32 |
| Metodología..... | 32 |
| Alcance..... | 33 |
| Capítulo II Marco Teórico..... | 34 |
| Descripción del equipo..... | 34 |
| Transferencia de calor..... | 38 |
| Modos de transferencia de calor..... | 38 |
| Conducción..... | 38 |
| Convección..... | 38 |
| Radiación..... | 39 |
| Campo de aplicación..... | 39 |
| Intercambiadores de calor..... | 40 |
| Tipos de intercambiadores..... | 40 |
| Cálculos de transferencia de calor..... | 42 |
| Coeficiente global de transferencia de calor..... | 42 |
| Diferencia media logarítmica de temperatura..... | 46 |
| Factores de corrección para intercambiadoras de calor..... | 47 |
| Número de Reynolds..... | 48 |
| Número de Nusselt..... | 48 |
| Número de Prandtl..... | 49 |
| Correlaciones empíricas para la convección forzada turbulenta..... | 49 |
| Conceptos básicos de instrumentación..... | 50 |
| Sensores..... | 50 |
| Voltaje..... | 51 |

| | |
|--|-----|
| Amperio | 51 |
| Tipos de señales..... | 51 |
| Acondicionamiento de señales..... | 52 |
| Sistemas de adquisición de datos..... | 52 |
| Controladores lógicos programables (PLC)..... | 53 |
| Tipos de PLC | 53 |
| Interfaz Hombre-máquina (HMI)..... | 54 |
| Capítulo III Rediseño Térmico..... | 55 |
| Selección del material para la construcción del intercambiador de calor | 55 |
| Selección del material para la coraza y cabezales | 56 |
| Selección del material para el haz de tubos | 57 |
| Selección del material para los deflectores/baffles..... | 57 |
| Selección del material para la placa tubular | 58 |
| Selección del material para las bridas..... | 59 |
| Diseño del intercambiador de calor | 60 |
| Simulación del diseño del intercambiador de calor tubos y coraza diseñado por método computacional usando SolidWorks..... | 79 |
| Modelado del intercambiador de calor diseñado | 79 |
| Definición de condiciones de contorno..... | 80 |
| Creación del mallado (Mesh) | 84 |
| Ejecución del análisis y revisión de resultados..... | 84 |
| Interpretación de los resultados | 85 |
| Simulación del intercambiador de calor del laboratorio por método computacional usando SolidWorks | 85 |
| Modelado del intercambiador de calor del laboratorio | 86 |
| Definición de condiciones de contorno..... | 86 |
| Creación del mallado (Mesh) | 90 |
| Ejecución del análisis y revisión de resultados..... | 90 |
| Interpretación de los resultados | 91 |
| Construcción del Intercambiador de calor..... | 91 |
| Generalidades | 91 |
| Diseño del Intercambiador de Calor | 92 |
| Preparación de los componentes..... | 93 |
| Mecanizado de los componentes..... | 93 |
| Ensamblaje de los componentes | 97 |
| Acabados..... | 104 |
| Capítulo IV Mantenimiento..... | 106 |
| Levantamiento técnico del estado actual del equipo..... | 106 |

| | |
|--|-----|
| Levantamiento técnico del reservorio de agua | 107 |
| Levantamiento técnico del reservorio de aceite | 108 |
| Levantamiento técnico de la bomba de agua | 111 |
| Levantamiento técnico de la bomba de aceite | 113 |
| Levantamiento técnico de la estructura | 114 |
| Levantamiento técnico del intercambiador de calor multitubo | 115 |
| Mantenimiento modificativo | 117 |
| Modificación en la estructura para la colocación del tablero de control | 117 |
| Soporte para la colocación de la bomba centrífuga..... | 119 |
| Estructura del banco de pruebas | 121 |
| Empaques y accesorios de tuberías | 123 |
| Mantenimiento eléctrico..... | 124 |
| Capítulo V Diseño e implementación del sistema de adquisición de datos..... | 126 |
| Identificación de las variables de medición | 126 |
| Selección de la instrumentación | 126 |
| Cálculos para dimensionamiento eléctrico..... | 127 |
| Cálculo y determinación de los componentes eléctricos que se necesitaran para la conexión de los actuadores | 128 |
| Compresor Sistemas De Refrigeración | 128 |
| Resistencia Eléctrica..... | 130 |
| Bomba de Aceite..... | 131 |
| Selección del controlador lógico programable (PLC)..... | 133 |
| Selección de los sensores | 135 |
| Selección del HMI | 139 |
| Diseño del sistema de adquisición de datos | 141 |
| Diseño del tablero de control..... | 141 |
| Diseño del sistema eléctrico | 143 |
| Dimensionamiento del consumo del sistema de adquisición de datos | 145 |
| Dimensionamiento de la fuente de alimentación eléctrica | 147 |
| Cableado para el sistema eléctrico | 148 |
| Implementación del sistema de adquisición de datos | 148 |
| Distribución general de los componentes en el tablero de control..... | 149 |
| Conexión de los componentes del sistema eléctrico | 151 |
| Programación del PLC | 158 |
| Acondicionamiento para los sensores de temperatura..... | 159 |
| Acondicionamiento para los sensores de caudal..... | 161 |
| Diseño y programación de la interfaz Hombre - Máquina (HMI)..... | 163 |
| Configuración conexión PLC-HMI | 163 |

| | |
|--|-----|
| Diseño de la interfaz pantalla de inicio | 164 |
| Diseño de la interfaz selección de práctica | 165 |
| Diseño de la interfaz Intercambiador de coraza y tubos (doble paso) flujo paralelo ... | 166 |
| Diseño de la interfaz Intercambiador de coraza y tubos (doble paso) contracorriente | 167 |
| Diseño de la interfaz Intercambiador de coraza y tubos (un paso) flujo paralelo | 168 |
| Diseño de la interfaz Intercambiador de coraza y tubos (un paso) contracorriente..... | 169 |
| Diseño de la interfaz visualización de datos en forma de tabla | 169 |
| Diseño de la interfaz gráfica de temperaturas | 170 |
| Diseño de la interfaz de ayuda..... | 171 |
| Análisis estadístico del sensor de temperatura..... | 172 |
| Capítulo VI Pruebas de funcionamiento y puesta a punto | 175 |
| Memoria de cálculo | 178 |
| Resultados de los flujos contracorriente y paralelo en los dos intercambiadores de calor | 182 |
| Comparación de la efectividad entre intercambiadores de calor | 186 |
| Comparación del coeficiente global de transferencia de calor en los intercambiadores. | 187 |
| Comparación del coeficiente de convección para el agua | 190 |
| Efectividad de los intercambiadores de calor en la practica..... | 192 |
| Capítulo VII Análisis financiero..... | 193 |
| Costos directos..... | 193 |
| Remuneración al personal profesional..... | 193 |
| Remuneración al personal no profesional | 194 |
| Remuneración de estudiantes..... | 194 |
| Costo de instrumentación | 195 |
| Costo de materiales | 195 |
| Costo del nuevo intercambiador de calor | 197 |
| Costos indirectos..... | 198 |
| Costo total del proyecto..... | 199 |
| Capítulo VIII Conclusiones y Recomendaciones | 200 |
| Conclusiones..... | 200 |
| Recomendaciones..... | 201 |
| Referencias..... | 202 |

Índice de Tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 Componentes del equipo banco de pruebas para intercambiadores de calor | 35 |
| Tabla 2 Estimaciones coeficientes globales de transferencia de calor..... | 45 |
| Tabla 3 Correlaciones de transferencia de calor para líquidos y gases en flujo incompresible a través de tubos y conductos..... | 49 |
| Tabla 4 Matriz de selección de materiales para la coraza..... | 56 |
| Tabla 5 Selección de tubería interna | 57 |
| Tabla 6 Selección de baffles..... | 58 |
| Tabla 7 Selección de placas..... | 58 |
| Tabla 8 Selección de bridas..... | 59 |
| Tabla 9 Temperaturas, caudales y diámetros de entrada y salida de los fluidos..... | 60 |
| Tabla 10 Dimensiones de la tubería de cobre tipo L, ASTM B288 para la conducción del agua | 62 |
| Tabla 11 Dimensiones de la coraza y baffles para el intercambiador de calor | 66 |
| Tabla 12 Elementos para la construcción del intercambiador de calor..... | 92 |
| Tabla 13 Levantamiento técnico del reservorio de agua y sus componentes..... | 107 |
| Tabla 14 Levantamiento técnico del reservorio de aceite y sus componentes. | 109 |
| Tabla 15 Levantamiento técnico de la bomba de agua y sus componentes..... | 111 |
| Tabla 16 Levantamiento técnico de la bomba de aceite y sus componentes. | 113 |
| Tabla 17 Levantamiento técnico de la estructura y todas sus partes | 115 |
| Tabla 18 Levantamiento técnico del intercambiador de calor multitubo | 116 |
| Tabla 19 Voltaje de trabajo de los componentes del banco de pruebas | 125 |
| Tabla 20 Rangos de funcionamiento de los sensores de temperatura y flujo másico | 126 |
| Tabla 21 Cantidad de sensores necesarios para la medición de las variables identificadas | 127 |
| Tabla 22 Matriz de selección de PLC | 134 |
| Tabla 23 Matriz de selección de sensores de temperatura | 136 |
| Tabla 24 Características del sensor de temperatura HDT-500 | 137 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 25 Matriz de selección de sensores de caudal..... | 138 |
| Tabla 26 Especificaciones del sensor de caudal YF-DN40 1.5 | 139 |
| Tabla 27 Matriz de de interfaz HMI | 140 |
| Tabla 28 Datos técnicos de la bomba de aceite..... | 144 |
| Tabla 29 Datos técnicos de la bomba de agua | 144 |
| Tabla 30 Datos técnicos del sistema de refrigeración | 145 |
| Tabla 31 Datos técnicos de la resistencia..... | 145 |
| Tabla 32 Datos técnicos del PLC modular DVP-SX2..... | 146 |
| Tabla 33 Datos técnicos de los sensores de temperatura HDT-500 | 146 |
| Tabla 34 Datos técnicos del sensor de caudal YF-DN40 1.5 | 146 |
| Tabla 35 Datos técnicos del HMI KINCO GL070E | 146 |
| Tabla 36 Especificaciones eléctricas de cada componente para el dimensionamiento de la fuente de alimentación | 147 |
| Tabla 37 Descripción de la simbología de los elementos eléctricos..... | 152 |
| Tabla 38 Mediciones de temperatura..... | 172 |
| Tabla 39 Resultados de análisis estadístico de sensores de temperatura | 173 |
| Tabla 40 Distribución de frecuencias | 173 |
| Tabla 41 Nomenclatura utilizada para la práctica | 176 |
| Tabla 42 Datos de la práctica IC multitubos 1 flujo paralelo..... | 176 |
| Tabla 43 Datos de la práctica IC multitubos 1 flujo contracorriente..... | 177 |
| Tabla 44 Datos de la práctica IC multitubos 2 flujo paralelo..... | 177 |
| Tabla 45 Datos de la práctica IC multitubos 2 flujo contracorriente..... | 178 |
| Tabla 46 Resultados de la práctica IC multitubos 1 flujo paralelo | 182 |
| Tabla 47 Resultados de la práctica IC multitubos 1 flujo contracorriente | 183 |
| Tabla 48 Resultados de la práctica IC multitubos 2 flujo paralelo | 184 |
| Tabla 49 Resultados de la práctica IC multitubos 2 flujo contracorriente | 185 |
| Tabla 50 <i>Parámetros para comparación de efectividades</i> | 185 |
| Tabla 51 <i>Comparación de las eficiencias entre los intercambiadores de calor</i> | 186 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 52 Remuneración al personal de docencia de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” | 193 |
| Tabla 53 Remuneración al personal no profesional | 194 |
| Tabla 54 Remuneración por estudiantes | 194 |
| Tabla 55 Costos de los componentes para la instrumentación | 195 |
| Tabla 56 Costos de materiales | 196 |
| Tabla 57 Costos de la construcción del nuevo intercambiador de calor | 198 |
| Tabla 58 Costos indirectos | 199 |
| Tabla 59 Resumen costos directos | 199 |
| Tabla 60 Costo total de la elaboración del proyecto | 199 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Elementos y partes constitutivas que forman parte del banco de pruebas agua aceite | 34 |
| Figura 2 Intercambiadores de calor flujo paralelo y contracorriente..... | 41 |
| Figura 3 Intercambiador de carcasa y tubos con varios tubos | 41 |
| Figura 4 Intercambiador de calor flujo mezclado y no mezclado | 42 |
| Figura 5 Transferencia de calor a través de una pared plana a) Distribución de temperatura b) Circuito térmico..... | 43 |
| Figura 6 Transferencia de calor a través de una pared cilíndrica | 44 |
| Figura 7 Variación de las temperaturas de los fluidos en un intercambiador de calor..... | 46 |
| Figura 8 Factor de corrección para intercambiadores de calor un paso por la carcasa y un número par de pasos por los tubos | 48 |
| Figura 9 Estructura del sistema de adquisición de datos..... | 52 |
| Figura 10 Arquitectura del PLC | 53 |
| Figura 11 Estructura de la interfaz Hombre-Máquina | 54 |
| Figura 12 Intercambiador de calor tubos y coraza con sus respectivos componentes..... | 55 |
| Figura 13 Propiedades del agua para el diseño del intercambiador | 63 |
| Figura 14 Dimensiones del escalonamiento de los tubos | 68 |
| Figura 15 Propiedades del aceite de motor - transformador | 69 |
| Figura 16 Búsqueda de los valores calculados..... | 71 |
| Figura 17 Cálculo del factor de corrección | 73 |
| Figura 18 conductividad del aire..... | 74 |
| Figura 19 Constantes para ecuación de flujo contracorriente | 76 |
| Figura 20 efectividad del intercambiador de calor | 78 |
| Figura 21 Modelado del intercambiador de calor..... | 80 |
| Figura 22 Creación del complemento de simulación para los fluidos de trabajo | 81 |
| Figura 23 Selección de materiales de la coraza y la tubería interna | 81 |
| Figura 24 Selección del flujo másico que pasa a través los tubos de cobre y la coraza | 82 |

| | |
|---|-----|
| Figura 25 Selección del flujo másico que atravesara la coraza y la tubería interna | 83 |
| Figura 26 Selección de los parámetros a calcular del intercambiador de calor diseñado ... | 83 |
| Figura 27 Generación del mallado en el modelo CAD del intercambiador de calor diseñado | 84 |
| Figura 28 Resultado de la simulación del intercambiador de calor diseñado | 85 |
| Figura 29 Modelado del intercambiador de calor, original, del laboratorio | 86 |
| Figura 30 Creación del complemento de simulación para los fluidos en el intercambiador de calor, original, del laboratorio | 87 |
| Figura 31 Selección de materiales de la coraza y la tubería interna | 87 |
| Figura 32 Selección de las trayectorias por donde circularán los fluidos de trabajo | 88 |
| Figura 33 Selección del flujo másico que atravesará la coraza y tubería interna. | 89 |
| Figura 34 Selección de los parámetros a calcular en el intercambiador de calor, original, del laboratorio..... | 89 |
| Figura 35 Generación del mallado en el modelo CAD del intercambiador de calor, original, del laboratorio | 90 |
| Figura 36 Resultado de la simulación del intercambiador de calor, original, del laboratorio | 91 |
| Figura 37 Diseño computacional del intercambiador de calor agua - aceite | 92 |
| Figura 38 Corte de la tubería de cobre | 94 |
| Figura 39 Corte del tubo de acero ASTM A106 | 94 |
| Figura 40 Refrentado del tubo de acero ASTM A106 | 95 |
| Figura 41 Corte de las uniones hembra..... | 95 |
| Figura 42 Perforaciones a la coraza y cabezales | 96 |
| Figura 43 Perforaciones en las placas tubulares | 97 |
| Figura 44 Perforaciones de los bafles | 97 |
| Figura 45 Soldadura del cabezal semielíptico | 98 |
| Figura 46 Soldadura de los cabezales semielípticos a las bridas | 98 |
| Figura 47 Soldadura de las uniones hembras a los cabezales y carcasa del IC..... | 99 |
| Figura 48 Soldadura de las bridas deslizantes a la carcasa | 99 |
| Figura 49 Colocación de los tubos de cobre en la placa tubular | 100 |

| | |
|---|-----|
| Figura 50 Soldadura oxiacetilénica entre los tubos de cobre y la placa tubular | 100 |
| Figura 51 Soldadura por ambos lados de la placa tubular | 101 |
| Figura 52 Ingreso de los baffles al haz de tubería de cobre | 101 |
| Figura 53 Soldadura entre los baffles y la tubería de cobre..... | 102 |
| Figura 54 Inspección y verificación de la posición de los baffles | 102 |
| Figura 55 Soldadura SMAW entre la placa tubular y la brida..... | 103 |
| Figura 56 Inspección y verificación de la soldadura entre la placa tubular y la carcasa del intercambiador de calor..... | 103 |
| Figura 57 Aplicación de la primera capa de pintura fondo al aceite para la corrosión..... | 104 |
| Figura 58 Aplicación de la segunda capa de pintura color gris para la estética | 104 |
| Figura 59 Colocación de los empaques bimetálicos a las bridas | 105 |
| Figura 60 Unión de los cabezales al cuerpo del intercambiador | 105 |
| Figura 61 Prueba de fugas | 106 |
| Figura 62 Lugar adecuado en donde se colocará el tablero de control..... | 118 |
| Figura 63 Cortado y esmerilado de las secciones cortadas..... | 118 |
| Figura 64 Colocación del tablero de control | 119 |
| Figura 65 Modificación de la base para la bomba centrífuga | 119 |
| Figura 66 Fabricación de la nueva base para la bomba centrífuga..... | 120 |
| Figura 67 Soldadura de la nueva base a la estructura del banco de pruebas..... | 120 |
| Figura 68 Limpieza de escoria y suciedad generada en la soldadura..... | 120 |
| Figura 69 Estado de la pintura de la estructura | 121 |
| Figura 70 Desmontaje de los componentes que forman parte del banco de pruebas..... | 121 |
| Figura 71 Aplicación del recubrimiento fondo al aceite..... | 122 |
| Figura 72 Aplicación de capa de pintura..... | 122 |
| Figura 73 Resultado del pintado de la estructura | 123 |
| Figura 74 Accesorios de las tuberías en mal estado | 123 |
| Figura 75 Empaques de las tuberías en mal estado..... | 124 |
| Figura 76 Empaques para las tuberías nuevos | 124 |

| | |
|---|-----|
| Figura 77 Accesorios nuevos para las tuberías | 124 |
| Figura 78 Conexiones y cableado de los componentes del banco de pruebas..... | 125 |
| Figura 79 Tablero de control | 125 |
| Figura 80 PLC DVP-SX2..... | 135 |
| Figura 81 Sensor de temperatura HDT-500 | 137 |
| Figura 82 Sensor de caudal YF-DN40 1.5..... | 139 |
| Figura 83 Interfaz HMI KINCO GL070E..... | 141 |
| Figura 84 Diseño del tablero de control..... | 142 |
| Figura 85 Ubicación del tablero de control y la pantalla HMI | 142 |
| Figura 86 Ubicación de los actuadores del banco de pruebas (Vista frontal)..... | 143 |
| Figura 87 Ubicación de los actuadores del banco de pruebas (Vista posterior)..... | 143 |
| Figura 88 Fuente de alimentación DC | 148 |
| Figura 89 Distribución de los componentes en el tablero de control | 149 |
| Figura 90 Diagrama eléctrico de las conexiones de los componentes de banco de pruebas | 152 |
| Figura 91 Instalación de los sensores de temperatura en los intercambiadores de calor . | 155 |
| Figura 92 Instalación de los sensores de temperatura en los reservorios de los fluidos de trabajo..... | 155 |
| Figura 93 Diagrama de conexión del sensor de temperatura HDT-500 | 156 |
| Figura 94 Conexión del sensor de temperatura al PLC | 156 |
| Figura 95 Instalación de los sensores de caudal en la red de tuberías de ambos fluidos de trabajo..... | 157 |
| Figura 96 Conexión del sensor de caudal al PLC..... | 157 |
| Figura 97 Habilitación de las entradas del PLC para el almacenamiento de datos..... | 158 |
| Figura 98 Configuración de las entradas del módulo de expansión para el almacenamiento de datos..... | 159 |
| Figura 99 Linealización del sensor de temperatura | 160 |
| Figura 100 Ingreso de la ecuación de linealización al programa | 160 |
| Figura 101 Lectura de datos del sensor de caudal | 161 |

| | |
|--|-----|
| Figura 102 Ingreso de la ecuación de escalamiento al programa..... | 162 |
| Figura 103 Configuración de la comunicación entre el PLC y la interfaz HMI | 162 |
| Figura 104 Configuración de la dirección IP | 163 |
| Figura 105 Diagrama red de comunicación entre HMI y PLC | 164 |
| Figura 106 Pantalla de inicio de la interfaz HMI..... | 164 |
| Figura 107 Pantalla selección de proceso en la interfaz HMI | 165 |
| Figura 108 Pantalla selección del flujo de los fluidos de trabajo | 166 |
| Figura 109 Pantalla visualización de datos en el intercambiador de calor de coraza y tubos (doble paso) flujo paralelo..... | 166 |
| Figura 110 Pantalla visualización de datos en el intercambiador de calor de coraza y tubos (doble paso) contracorriente | 167 |
| Figura 111 Pantalla visualización de datos en el intercambiador de calor de coraza y tubos (un paso) flujo paralelo..... | 168 |
| Figura 112 Pantalla visualización de datos en el intercambiador de calor de coraza y tubos (un paso) contracorriente | 169 |
| Figura 113 Tabla visualización de datos (mediciones) | 170 |
| Figura 114 Pantalla visualización de gráfica de variaciones de temperatura en función del tiempo..... | 171 |
| Figura 115 Pantalla visualización código QR para brindar ayuda al usuario..... | 172 |
| Figura 116 Histograma con la distribución de frecuencias del sensor | 174 |
| Figura 117 Gráfica de control..... | 174 |
| Figura 118 Localización de los sensores HDT-500 | 175 |
| Figura 119 Comparación del coeficiente global de transferencia de calor, con flujo de agua a 5 LPM y aceite a 10 LPM. | 187 |
| Figura 120 Comparación del coeficiente global de transferencia de calor, con flujo de agua a 10 LPM y aceite a 10 LPM. | 187 |
| Figura 121 Comparación del coeficiente global de transferencia de calor, con flujo de agua a 15 LPM y aceite a 10 LPM. | 188 |
| Figura 122 Comparación del coeficiente global de transferencia de calor, con flujo de agua a 20LPM y aceite a 10 LPM. | 188 |
| Figura 123 Tabla de coeficientes totales globales de transferencia de calor par varias aplicaciones..... | 189 |

| | |
|---|-----|
| Figura 124 Comparación del coeficiente de convección, con flujo de agua a 5 LPM y aceite a 10 LPM. | 190 |
| Figura 125 Comparación del coeficiente de convección, con flujo de agua a 10 LPM y aceite a 10 LPM. | 190 |
| Figura 126 Comparación del coeficiente de convección, con flujo de agua a 15 LPM y aceite a 10 LPM. | 191 |
| Figura 127 Comparación del coeficiente de convección, con flujo de agua a 20 LPM y aceite a 10 LPM. | 191 |
| Figura 128 Comparación de la efectividad de los intercambiadores de calor de coraza y tubos. | 192 |

Glosario de términos

Nomenclatura

| | | |
|-----------------------------|---|------------------------------------|
| q_{cond} | Flujo de calor por conducción | [W] |
| q_{conv} | Flujo de calor por convección | [W] |
| q_{rad} | Flujo de calor por radiación | [W] |
| q | Tasa de transferencia de calor | [W] |
| k | conductividad térmica del material | [W/mK] |
| A_p | Área perpendicular a la dirección de transferencia de calor | [m ²] |
| $\frac{\Delta T}{\Delta X}$ | Gradiente de temperatura | [°C] |
| h | Coefficiente de transferencia de calor por convección | [W/m ² K] |
| A_s | Área superficial de transferencia de calor | [m ²] |
| T_s | Temperatura de la superficie | [°C] |
| T_∞ | Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie | [°C] |
| σ | Constante de Stefan-Boltzmann | [W/m ² K ⁴] |
| T_s | Temperatura de la superficie | [°C] |
| U | Coefficiente global de transferencia de calor | [W/m ² K] |
| $\overline{\Delta T}$ | Diferencia de temperatura promedio efectiva | [°C] |
| L | Espesor de la pared | [m] |
| r | Radio de la pared cilíndrica | [m] |
| ΔT_{ml} | Diferencia media logarítmica de temperatura | [°C] |
| Re | Número de Reynolds | — |
| Nu | Número de Nusselt | — |
| Pr | Número de Prandtl | — |
| μ | Viscosidad dinámica del fluido | [kg/ms] |
| ν | Viscosidad cinemática del fluido | [m ² /s] |
| L_c | Longitud característica de la configuración geométrica | [m] |

| | | |
|----------|---------------------------------|---------------|
| ρ | Densidad del fluido | $[kg/m^3]$ |
| V | Velocidad de la corriente libre | $[m/s]$ |
| α | Difusividad térmica | $[m^2/s]$ |
| C_p | Capacidad calorífica | $[J/KgK]$ |
| T_b | Temperatura media volumétrica | $[^{\circ}C]$ |

Resumen

El banco de pruebas para intercambiadores de calor tipo tubo concéntrico y multitubos, que se encuentra en el laboratorio de conversión de la energía del DECEM, fue realizada por estudiantes en su formación como profesional. El equipo presentaba un deterioro en varios de sus componentes como es el caso de las tuberías, reservorios de los fluidos (agua, aceite) y estética, además de que no cuenta con un sistema para la adquisición y visualización de los datos, es por ello que en el presente trabajo de titulación se ha enfocado primero en la realización de un mantenimiento para la mejora del rendimiento y uso, segundo la instrumentación para implementar un sistema de adquisición de datos en tiempo real empleando una interfaz hombre-máquina (IHM) y mejorar el aprendizaje en los equipos del laboratorio. Adicional se realizará el diseño e implementación de un intercambiador de calor Agua-Aceite de flujo contracorriente, cuyo motivo es aplicar los conocimientos adquiridos durante nuestra formación profesional y comparar la variación de los datos con otros tipos de intercambiadores encontrados en el laboratorio, así como también comparar la efectividad del intercambiador de calor con diferentes caudales en los fluidos. Por último, se proporcionará las guías para la realización de las practicas tanto como contraflujo y flujo paralelo, además del manual de funcionamiento u operación del equipo, manual del mantenimiento con sus respectivos planos mecánicos y eléctricos. Todo esto con el propósito de contribuir en la formación académica de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica - ESPE.

Palabras clave: diseño, implementación, adquisición, interfaz hombre-máquina, rendimiento.

Abstract

"The test bench for concentric tube and multitube type heat exchangers, located in the DECEM energy conversion laboratory, was carried out by students in their professional training. The equipment showed deterioration in several of its components such as the pipes, fluid reservoirs (water, oil) and aesthetics, in addition to the fact that it does not have a system for the acquisition and visualization of data, which is why that in this degree work has focused first on carrying out maintenance to improve performance and use, second on instrumentation to implement a real-time data acquisition system using a human-machine interface (HMI) and improve learning on laboratory equipment. Additionally, the design and implementation of a countercurrent flow Water-Oil heat exchanger will be carried out, the purpose of which is to apply the knowledge acquired during our professional training and compare the variation of the data with other types of exchangers found in the laboratory, as well as compare the effectiveness of the heat exchanger with different flow rates in the fluids. Finally, the guides will be provided for carrying out the practices such as counterflow and parallel flow, in addition to the operating or operation manual of the equipment, maintenance manual with their respective mechanical and electrical plans. All of this is aimed at contributing to the academic development of mechanical engineering students at ESPE."

Keywords: design, implementation, acquisition, human-machine interface, performance.

Capítulo I Generalidades

Introducción

El banco de pruebas tiene como propósito simular condiciones reales o específicas en las que el proceso de transferencia de calor será utilizado, tales como refrigeración y aire acondicionado, procesos industriales y aplicaciones domésticas con el fin de analizar su rendimiento, identificar problemas o mejorar su funcionamiento.

El equipo es un importante instrumento de aprendizaje para el estudiante universitario, el cual le permitirá encontrar y desarrollar posibles soluciones ante problemas generados o pérdidas de rendimiento en las distintas aplicaciones.

El principio de funcionamiento de un intercambiador de calor es la transferencia de calor por conducción. Los dos fluidos se encuentran en contacto directo o indirecto a través de una pared metálica. El calor se transfiere del fluido más caliente al fluido más frío a través de la pared metálica.

El estudiante posee las destrezas y conocimientos para realizar el diseño y construcción de intercambiadores de calor analizando los factores necesarios como la cantidad de calor que se debe transferir, la temperatura, presión y velocidad de los fluidos para su respectivo funcionamiento o aplicación.

Antecedentes

En el laboratorio de conversión de energías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, cuenta con una gran variedad de equipos experimentales, con los cuales ayudan a los estudiantes al aprendizaje práctico, desarrollando los conocimientos adquiridos en las aulas, uno de estos equipos es conocido como el banco de pruebas de agua – aceite el que permite realizar prácticas con intercambiadoras de calor para conocer el proceso de conducción de calor entre fluidos a través de tuberías.

Con el paso de los años los equipos del laboratorio van quedando con falta de tecnología, por eso se ve la necesidad de implementar actualizaciones en los mismos para garantizar una formación académica que se ajuste a lo que se encuentra en la industria.

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, realiza proyectos de automatización, rediseño y mantenimiento de los equipos disponibles en el laboratorio para adaptarse a los cambios tecnológicos y lograr que el equipo no quede obsoleto, para seguir formando profesionales durante los períodos académicos.

Se han realizado varios trabajos referentes al diseño e implementación de equipos dentro de los laboratorios del DECEM. El siguiente trabajo con tema: “Simulación del Proceso Exergético y Automatización del Sistema de Adquisición de Datos de la Torre de Enfriamiento del Laboratorio de Termodinámica del DECEM”, realizado por: Grande Villamarín Rubén Darío y Torres Rodríguez Gabriela Del Carmen, presenta la automatización de la adquisición de datos mediante una simulación virtual de la torre de enfriamiento, implementando instrumentos de medición como sensores para obtener información del proceso y fenómeno físico en el equipo con la ayuda de una tarjeta DAQ. Además, realizaron un mantenimiento preventivo y correctivo de la torre de enfriamiento con lo que se consiguió que el equipo se encuentre operable en su totalidad, presentando datos en vivo con la ayuda de una interfaz programada en LabVIEW. (Grandes & Torres, 2009)

Otro trabajo realizado por: Ayala Míguez German Eduardo y Totoy Espín Ricardo Fernando, con el tema: “Automatización de la Adquisición de Datos y Control de Encendido del Banco de Pruebas Motor de Combustión Interna a Diésel Plint TE-16 del Laboratorio de Motores del DECEM”, consiste en controlar la adquisición de datos y encendido en el banco de pruebas PLINT TE-16, que permite registrar parámetros de funcionamiento como caídas de presión, temperatura de gases de escape mediante sensores y procesarlas con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos y la interfaz del software LabVIEW. Dando como resultado el cálculo de varios parámetros importantes para apreciar el desempeño del equipo en relación a eficiencia térmica y volumétrica. (Ayala & Totoy, 2015)

En el siguiente trabajo con el tema: “Diseño, construcción y adquisición de datos de un banco de pruebas móvil de barras cilíndricas de longitud infinita”, realizado por: Collaguazo Lincango Jesús Samael y Quiguango Arcos Cristian Paúl, consiste en el diseño de la adquisición de datos del banco de pruebas de barras de longitud infinita que se encuentra en el laboratorio de conversión de la energía del DECEM, donde se implementa el sistema con la ayuda de sensores, permitiendo obtener el perfil de temperatura que se genera en las tres barras cilíndricas, por medio de una interfaz gráfica programada en Nextion Editor. Finalmente realizaron pruebas de funcionamiento para obtener factores de corrección para que los resultados se apeguen a la teoría de transferencia de calor. (Collaguazo & Quiguango, 2021)

A finales del año 2021 realizan el trabajo por parte de: Ambato Guasumba Pablo Xavier y Bravo Ríos Juan Fernando, con el tema: “Recuperación energética, puesta a punto, automatización y adquisición de datos del equipo “Túnel de Aire Multipropósito”, del Laboratorio de Conversión de Energía”. Realizaron el mantenimiento correctivo y una implementación del sistema de adquisición de datos diseñando un HMI, permitiendo que el equipo esté disponible para realizar las prácticas en laboratorio con una interfaz programada en LabVIEW para controlar la unidad de refrigeración, finalmente se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para la puesta a punto del equipo. (Ambato & Bravo, 2021)

Uno de los últimos trabajos realizados en el 2023 fue: Calo Catota Edgar Orlando y Casamen Aguirre Johnny Paul, con el tema: “Desarrollar la repotenciación, rediseño térmico, y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el intercambiador de calor de flujo contracorriente, del Laboratorio de Conversión de la Energía”. Realizaron el mantenimiento del equipo túnel de aire marca TecEquipment TE.93/5055, además de la implementación de una interfaz hombre – máquina (HMI), con la implementación de un intercambiador de calor multitubos de distribución escalonada aire – agua, instalaron un sistema de bombeo de agua caliente con recirculación controlada desde la interfaz, para realizar las prácticas correspondientes. (Calo & Casamen, 2023)

En la realización de la automatización y adquirentes de datos se han usado diferentes microprocesadores disponibles en el mercado como Arduino, PLCs, o tarjetas DAQ que permiten obtener información en tiempo real de los procesos que se realizan en los equipos, así también se ayudan de otras herramientas amigables con el usuario con el fin de que sea más fácil el manejo y procesamiento de la información mediante una interfaz que permita relacionar la máquina y al hombre (HMI), como software LabVIEW, Ansys, SolidWorks entre otros más.

Definición del problema

En el presente equipo (banco de pruebas de intercambiadores de calor) que se encuentra en el laboratorio de conversión de la energía, tiene la finalidad que los estudiantes observen como se da el fenómeno de transferencia de calor entre dos o más fluidos que se encuentran a diferente temperatura, siendo en este caso agua y aceite.

Después de un periodo de uso del equipo, la eficiencia ya no es la misma debido al deterioro de las partes que forman parte del equipo y de los fluidos utilizados, además de la carencia y dificultad de la toma de datos de los distintos puntos del intercambiador de calor en tiempos específicos.

Ante estos problemas surge la necesidad de realizar el respectivo mantenimiento del equipo a cada uno de los componentes que lo conforman, así como el cambio de los fluidos utilizados y la respectiva implementación de un sistema de adquisición de datos, para así mejorar y facilitar el estudio de la transferencia de calor en los fluidos utilizados.

Justificación

Durante la formación como ingeniero mecánico de la ESPE, el estudiante adquirió varias destrezas y conocimientos necesarios para la resolver problemas que en este caso fueron encontrados en banco de pruebas para intercambiadores de calor, el cual es un equipo empleado en prácticas para la complementación de conocimientos teóricos en la asignatura de transferencia de calor y diseño térmico.

El equipo no cuenta con un sistema de monitoreo y visualización de datos en tiempo e instante específico, sino que por medio de otro equipo (termómetro digital) visualiza los datos de cada sección de forma individual y distinto tiempo, por lo que surge la necesidad del diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos por medio de una metodología rigurosa y precisa. Esta investigación permitirá aplicar y evaluar diferentes técnicas y herramientas de adquisición de datos, así como también desarrollar estrategias de control y monitoreo eficientes. La metodología utilizada en esta investigación servirá como base para futuros proyectos relacionados con sistemas de adquisición de datos y repotenciación de equipos en el campo de la Ingeniería Mecánica.

El equipo requirió de un mantenimiento preventivo y/o correctivo para un adecuado funcionamiento y toma de datos correctos, seguido del diseño de un intercambiador de calor agua-aceite el cual tiene una sólida justificación teórica. La transferencia de calor es un área fundamental en la ingeniería mecánica, y contar con un intercambiador de calor eficiente y confiable permitirá obtener datos experimentales que contribuirán al avance del conocimiento en esta área. Además, este diseño permitirá explorar y aplicar diferentes principios y teorías relacionadas con la transferencia de calor, enriqueciendo así el cuerpo teórico de la disciplina.

El ingeniero mecánico es capaz de investigar, planificar y desarrollar el presente proyecto aplicando sus destrezas adquiridas durante su formación como profesional y basándose en la aplicación industrial, normas técnicas y principios fundamentales del conocimiento en las asignaturas de la ingeniería.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar la repotenciación, y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el equipo Transferencia de Calor agua aceite, del Laboratorio de Conversión de la Energía.

Objetivos específicos

- Realizar una evaluación técnica del estado inicial de los componentes e instrumentación del Equipo de transferencia de calor de agua aceite.
- Realizar el mantenimiento preventivo y/o correctivo para la repotenciación del Equipo de transferencia de calor de agua aceite.
- Realizar el diseño e implementación de un intercambiador de calor para Agua-Aceite en el cual se permita transferir calor de manera eficiente entre dos fluidos sin que se mezclen entre sí.
- Realizar el diseño e implementación del sistema de adquisición de datos del Equipo de transferencia de calor de agua aceite.
- Realizar el diseño e implementación de la interfaz HMI para el Equipo de transferencia de calor de agua aceite.

Metodología

Para el desarrollo del siguiente proyecto se investigó la información necesaria, se planifico las actividades y se ejecutó de manera ordenada las siguientes etapas, de tal forma cumplir con los objetivos establecidos.

- 1) Análisis y evaluación del estado actual del equipo y sus componentes para identificar sus características y limitaciones.
- 2) Desarrollo del mantenimiento correctivo y/o preventivo a fin de mejorar el rendimiento del equipo y del intercambiador de calor.
- 3) Elaboración del diseño de un nuevo intercambiador calor que cumpla con los objetivos de la repotenciación, incluyendo la selección de los materiales, el diseño de las geometrías de los tubos y las placas, etc.
- 4) Diseño e implementación de un sistema de adquisición de para permitir la recopilación de información de las variables de proceso de transferencia de calor del intercambiador, esta información se puede utilizar para evaluar el rendimiento del intercambiador y realizar ajustes en el diseño si es necesario.

- 5) Implementación de la repotenciación una vez que se haya diseñado el nuevo intercambiador y el sistema de adquisición de datos, incluyendo la instalación del nuevo intercambiador y la puesta en marcha del sistema de adquisición de datos.
- 6) Pruebas y validación después de la implementación de la repotenciación, para verificar que cumpla con los objetivos, incluyendo la recopilación de datos y el análisis de los resultados.
- 7) Puesta en marcha el funcionamiento del equipo.

Alcance

El siguiente proyecto se enfoca en desarrollar una investigación bibliográfica sobre intercambiadores de calor que funcionan en flujo paralelo y contracorriente, además como sus componentes y las aplicaciones que tienen en la industria y en el ámbito académico.

Se realizará un levantamiento técnico del estado en el cual se encuentra el banco de pruebas de agua - aceite, para realizar un mantenimiento correctivo del equipo, además de conocer los caudales de las bombas centrifugas para diseñar un intercambiador de mayor eficiencia para cumplir con la solicitud de rediseño energético.

En la primera fase se realizará el mantenimiento correctivo de un intercambiador de calor multitubos existente, en el laboratorio para que en el futuro se puedan realizar mantenimientos en el mismo.

Como segunda fase se realizará el diseño y construcción de un intercambiador de calor multitubos de mayor capacidad lo que permitirá generar una práctica uva para el laboratorio para comparar la variación de transferencia de calor entre los dos intercambiadores entre agua y aceite.

Tercera fase implementar un sistema de adquisición de datos, el mismo que nos permitirá cambiar los instrumentos de medición manuales (lector de termocuplas y caudalímetros visuales), por los instrumentos analógicos como los sensores de temperaturas, caudalímetros y consumo eléctrico, que van en el equipo.

Cuando se realice la implementación de los instrumentos se procederá a programar un controlador lógico mediante una interfaz hombre – máquina (HMI), para obtener los datos en tiempo real del equipo y tener un mejor análisis de datos.

Capítulo II Marco Teórico

Descripción del equipo

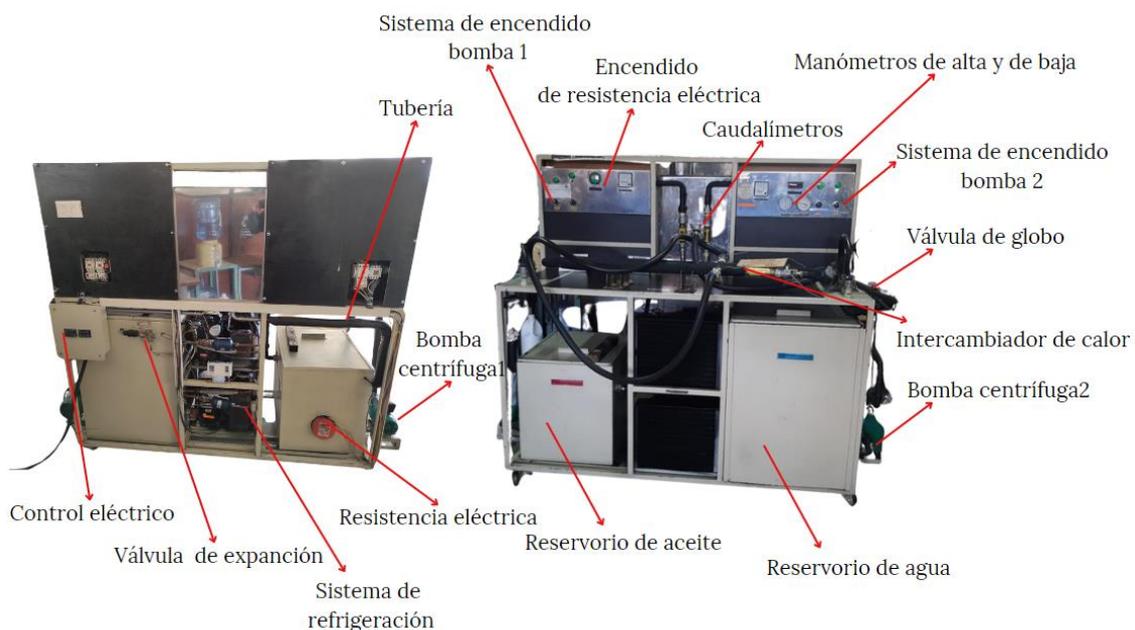
El banco de pruebas de intercambiadores de calor es un sistema diseñado para evaluar y analizar el rendimiento de intercambiadores de calor en condiciones de trabajo específicas. Este sistema es fundamental en el proceso de desarrollo, diseño y perfeccionamiento de intercambiadores de calor empleados en diversas aplicaciones tanto industriales como comerciales.

Elementos y partes constitutivas

El equipo banco de pruebas para intercambiadores de calor consta de los siguientes elementos.

Figura 1

Elementos y partes constitutivas que forman parte del banco de pruebas agua aceite



Nota. Esquema completo del banco de pruebas para intercambiadores de calor.

Tabla 1

Componentes del equipo banco de pruebas para intercambiadores de calor

| N° | Componente | Función |
|----|---|--|
| 1 | Sistema de flujo de fluido (tuberías de cobre y acero inox 304) | Frecuentemente, los bancos de pruebas incluyen sistemas de flujo de fluido a diferentes temperaturas, imitando las condiciones operativas reales del intercambiador de calor, estos sistemas posibilitan la circulación de fluidos a lo largo de los conductos del intercambiador |
| 2 | Instrumentación | Los instrumentos de detección y dispositivos de medición (sensores) se utilizan para supervisar y evaluar varias magnitudes, tales como la temperatura, la presión y la tasa de flujo de los fluidos en distintos puntos del sistema, estos datos resultan fundamentales para la evaluación del rendimiento del intercambiador de calor, así mismo, se emplean equipos de generación de calor y frío, simulando situaciones prácticas. |
| 3 | Bombas de circulación | Las bombas son empleadas para enviar fluidos a un determinado caudal y presión hacia el intercambiador de calor. |
| 4 | Controladores y Automatización (selectores) | Son sistemas de control que permiten ajustar y mantener las condiciones de prueba, al mismo tiempo ofrecen la capacidad de automatizar el procedimiento y llevar a cabo evaluaciones a largo plazo o modificar las condiciones de manera programada. |

| N° | Componente | Función |
|----|--|---|
| 5 | Intercambiador de calor | Dispositivo empleado para la simulación de transferencia de calor entre dos fluidos (agua y aceite) a distinta temperatura y determinado flujo. |
| 6 | Medidores de caudal (caudalímetros) | La función principal de los caudalímetros es medir la cantidad de fluido (ya sea agua, aceite u otro medio) que fluye por la tubería de cobre hasta el intercambiador de calor. Esta información es esencial para evaluar el rendimiento de los intercambiadores de calor y realizar análisis detallados. |
| 7 | Reservorio de agua de acero inoxidable 304 | El reservorio garantiza un suministro constante de agua a una temperatura específica para el banco de pruebas. Esto es crucial para mantener un flujo constante a través de los intercambiadores de calor durante las pruebas, ayudando a simular condiciones realistas y repetibles. |
| 8 | Reservorio de aceite de acero inoxidable 304 | El reservorio de aceite actúa como medio de transferencia térmica, que puede calentarse o enfriarse para simular distintas condiciones de temperatura y evaluar cómo responden los intercambiadores de calor a esas variaciones. |
| 9 | Sistema de enfriamiento (refrigeración) | Diseñados para extraer calor de un espacio o fluido y transferirlo a otro lugar, con el objetivo de mantener una temperatura baja o controlada, este proceso es esencial en una variedad de aplicaciones, desde sistemas de |

| N° | Componente | Función |
|----|--|--|
| | | climatización en edificios hasta la refrigeración de equipos industriales y la conservación de alimentos. |
| 10 | Sistema de calentamiento (resistencia eléctrica de 1.5 kw/h) | Dispositivos eléctricos diseñados para generar calor en entornos industriales, estas resistencias desempeñan un papel crucial en aplicaciones que requieren calentamiento controlado, como procesos de manufactura, secado de materiales, calentamiento de fluidos y equipos, entre otros. |
| 11 | Caja de control eléctrico | La caja tiene la función principal de gestionar y supervisar diversos aspectos eléctricos y electrónicos del sistema de pruebas tales como el control de la temperatura, caudal, bombas y ventiladores, interfaz de usuario, adquisición de datos y la seguridad y control de los demás componentes del banco de pruebas. |
| 12 | Válvula de expansión | La válvula de expansión funciona para regular el caudal de un fluido, como agua o refrigerante, que circula por el sistema. La válvula de expansión desempeña un papel crucial en el control de la temperatura y el caudal, lo que afecta directamente en las condiciones de prueba y, en última instancia, en el rendimiento del intercambiador de calor. |

Nota. Esta tabla indica las funcionalidades de cada componente del banco de pruebas para intercambiadores de calor.

Transferencia de calor

La transferencia de calor es el proceso físico por el que la energía térmica se transfiere de un cuerpo o sistema a otro debido a la diferencia de temperatura entre ellos.

Modos de transferencia de calor

Conducción

La conducción es el proceso de transferencia de calor que ocurre a través de la interacción directa de partículas en un medio estacionario, como un sólido. En este fenómeno, la energía térmica se transmite de molécula a molécula mediante la excitación y la vibración de los átomos, sin que haya movimiento macroscópico de la sustancia en sí. La conducción se expresa mediante la ley de Fourier en la siguiente ecuación (1) (Pitts & Sissom, 1979).

$$q_{cond} = -kA_p \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (1)$$

Convección

La convección es un modo de transferencia de calor que se produce en fluidos, ya sean líquidos o gases. Este proceso implica el transporte de energía térmica a través del movimiento macroscópico del fluido. La transferencia de calor por convección se facilita mediante corrientes de fluido que transportan calor desde una región más caliente a una más fría, generando así un intercambio de energía. La convección se expresa mediante la ley de enfriamiento de Newton en la siguiente ecuación (2) (Pitts & Sissom, 1979).

$$q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Convección natural

La convección natural es un proceso de transferencia de calor, en el cual las partículas más calientes tienden a ascender y las más frías a descender, creando un movimiento natural del fluido, este tipo de convección no requiere de dispositivos mecánicos y está determinada por los cambios de densidad del fluido debido a cambios de temperatura (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

Convección forzada

La convección forzada es el proceso de transferencia de calor en un fluido (tanto gas como líquido) que se induce deliberadamente mediante dispositivos mecánicos como ventiladores, bombas u otros medios externos, es decir en la convección forzada se aplica una fuerza externa para forzar el flujo del fluido. La convección forzada permite una mayor eficiencia en la transferencia de calor y la capacidad de dirigir el flujo del fluido según las necesidades específicas del sistema (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

Radiación

La propagación de la energía térmica en forma de ondas electromagnéticas, como la luz y el calor, se conoce como radiación térmica. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere un medio material para transferir calor. Los objetos emiten y absorben radiación térmica en función de sus temperaturas relativas, siguiendo las leyes de la radiación electromagnética. Este proceso es esencial en la transferencia de calor en el vacío y no se ve afectado por la presencia de un medio material. La radiación se expresa mediante la ley fundamental de Stefan Boltzmann en la siguiente ecuación (3) (Pitts & Sissom, 1979).

$$q_{rad} = \sigma A_s T_s^4 \quad (3)$$

Campo de aplicación

El banco de pruebas de intercambiadores de calor es un equipo diseñado para proporcionar a los estudiantes y docentes académicos un entorno de aprendizaje práctico y experimental en el campo de la transferencia de calor, para enseñar conceptos teóricos y prácticos relacionados con intercambiadores de calor y sistemas térmicos.

El estudiante adquirirá conocimientos sobre transferencia de calor y como es el comportamiento de los fluidos, para aplicarlos en el mundo laboral (nivel industrial) y generar soluciones a problemas generados.

Intercambiadores de calor

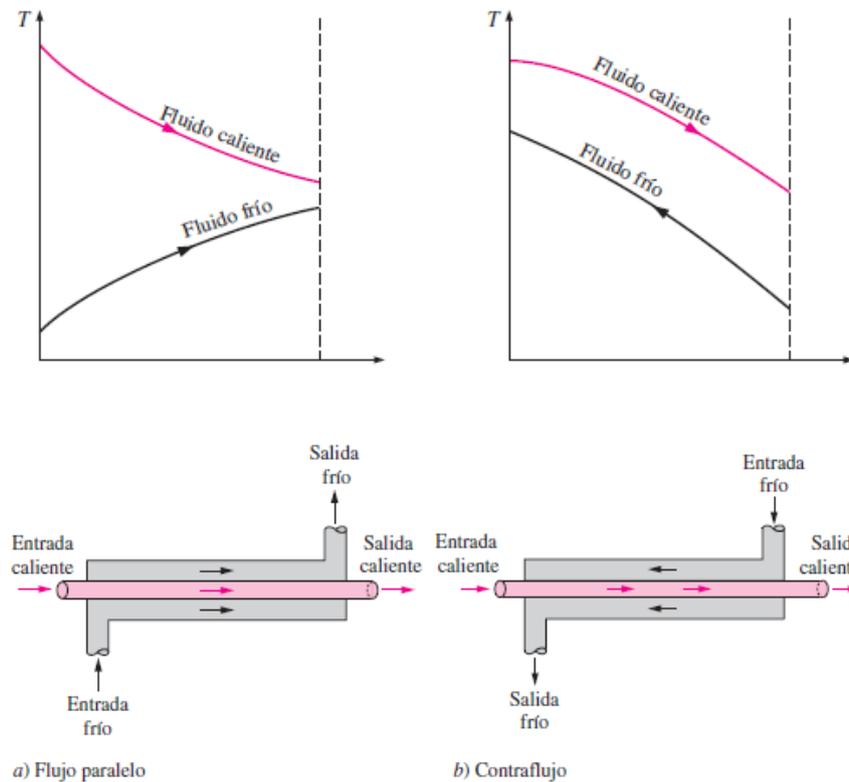
Los intercambiadores de calor son dispositivos diseñados específicamente para facilitar la transferencia eficaz de calor entre dos fluidos o medios a temperaturas diferentes, sin permitir que se mezclen. Estos dispositivos desempeñan un papel clave en diversos sectores y aplicaciones industriales, permitiendo el intercambio térmico para funciones como la refrigeración, la calefacción y la recuperación de calor en diversos procesos y sistemas. La variedad de diseños de intercambiadores de calor responde a distintas necesidades, contribuyendo a mejorar la eficiencia energética y el rendimiento térmico en una amplia gama de aplicaciones.

Tipos de intercambiadores

Los intercambiadores de calor corrientes son los tipos de placa, carcasa y tubos y de flujo contracorriente. En la figura 2 se muestra un intercambiador de doble tubo, la forma más sencilla del tipo de coraza y tubos. Si los dos fluidos fluyen en el mismo sentido, como se indica, se denomina tipo de flujo paralelo y si los flujos tienen sentidos opuestos es de contracorriente. La figura 3 muestra un intercambiador de coraza y tubos conocido como multitubos, dos pasos y de deflectores. En los intercambiadores de calor de flujo contracorriente, los fluidos fluyen formando ángulo recto uno con el otro, como se ilustra en la figura 4. Si un fluido puede moverse más o menos libremente, mientras pasa a través del intercambiador, se denomina mezclado. Además, la figura 4 muestra un tipo de flujo contracorriente con los dos fluidos no mezclados. Aquí la curva de distribución de temperatura es inclinada debido a que el fluido en una trayectoria de flujo determinada está sometido a una diferencia de temperatura diferente a la experimentada por el fluido en cualquier otra trayectoria a la misma distancia de la entrada.

Figura 2

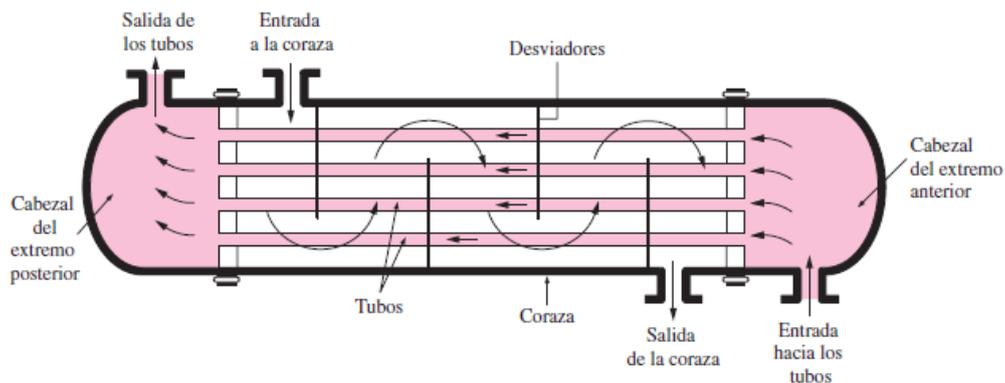
Intercambiadores de calor flujo paralelo y contracorriente



Nota. Se observa los tipos de dirección del flujo de los fluidos que pueden funcionar en un intercambiador de calor. Tomado de (Çengel, 2011).

Figura 3

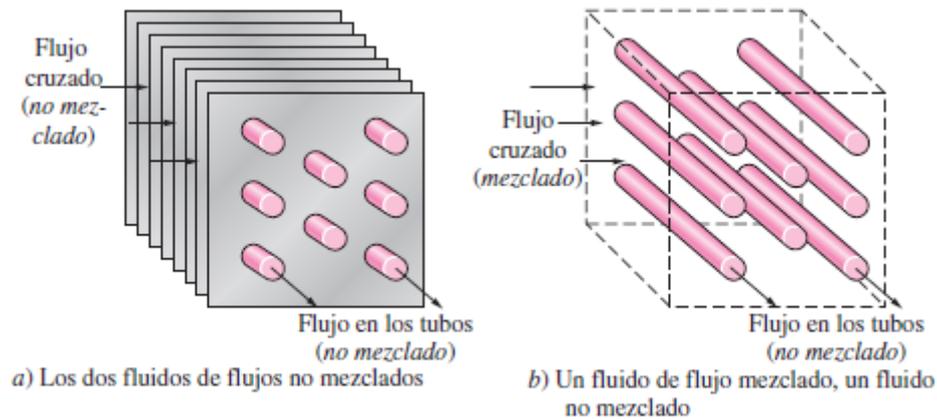
Intercambiador de carcasa y tubos con varios tubos



Nota. Se observa el flujo de los fluidos y componentes del intercambiador de calor carcasa y tubo. Tomado de (Çengel, 2011).

Figura 4

Intercambiador de calor flujo mezclado y no mezclado



Nota. Se observa el flujo de fluidos mezclados y no mezclados en el interior de un intercambiador de calor. Tomado de (Çengel, 2011).

Cálculos de transferencia de calor

El objetivo principal en el diseño térmico de intercambiadores de calor, es determinar el área superficial necesario para transferir calor con una determinada rapidez para ciertas temperaturas de los fluidos y condiciones de flujo dadas. Esto se facilita con el empleo del coeficiente total de transferencia de calor U .

$$q = UA\bar{\Delta T} \quad (4)$$

donde $\bar{\Delta T}$ es la diferencia de temperatura promedio efectiva para todo el intercambiador de calor.

Coefficiente global de transferencia de calor

El coeficiente global de transferencia de calor (U) es una medida que describe la eficiencia global de la transferencia térmica en un sistema o dispositivo, como un intercambiador de calor, este coeficiente representa la capacidad del sistema para facilitar el intercambio de calor entre dos medios, considerando los coeficientes de transferencia de calor convectivos/conductivos/radiativos de los fluidos involucrados y las resistencias

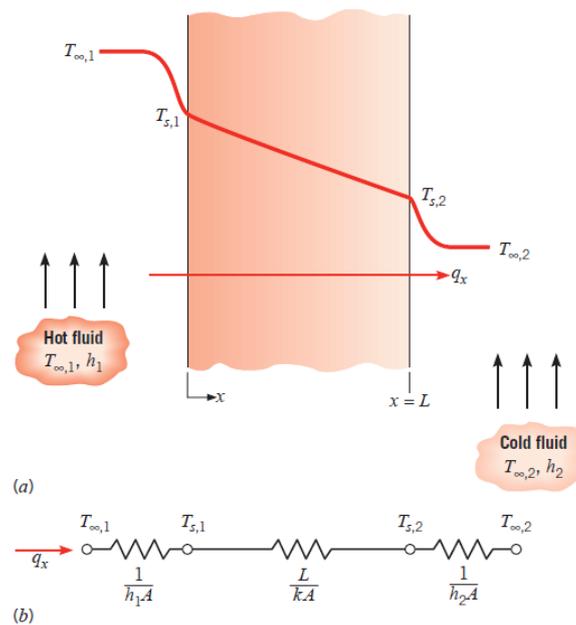
térmicas de las capas sólidas. El coeficiente depende de la geometría de las paredes donde hacen contacto los fluidos, las geometrías más comunes son:

Pared plana:

Figura 5

Transferencia de calor a través de una pared plana a) Distribución de temperatura b)

Circuito térmico



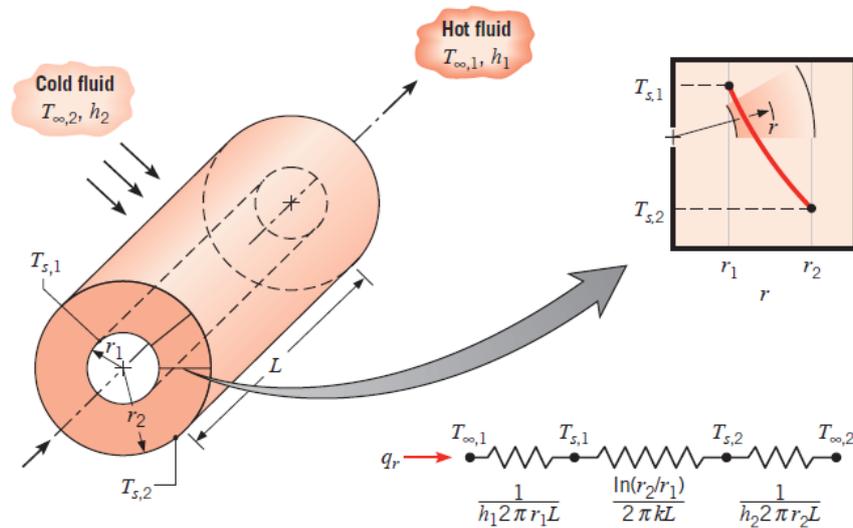
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (5)$$

Nota. Se observa la transferencia de calor de un fluido caliente a un fluido frío por medio de una pared plana a determinadas condiciones. Tomado de (Incropera & Dewitt, 2012).

Pared cilíndrica:

Figura 6

Transferencia de calor a través de una pared cilíndrica



$$U_o = \frac{1}{\frac{r_2}{r_1 h_1} + \frac{\left[r_2 \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \right]}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (6)$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\left[r_1 \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \right]}{k} + \frac{r_1}{r_2 h_2}} \quad (7)$$

Nota. Se observa la transferencia de calor de un fluido caliente que circula por el interior del cuerpo a un fluido frío por medio de una pared cilíndrica a determinadas condiciones. Tomado de (Incropera & Dewitt, 2012).

Para el diseño preliminar de intercambiadores de calor, resulta ventajoso poder estimar los coeficientes globales de transferencia de calor. La Tabla 2 indica los valores aproximados de U para algunos fluidos comúnmente utilizados. La gran amplitud de los valores citados es causada por la diversidad de materiales (con diferentes conductividades térmicas, k) utilizados en intercambiadores de calor y condiciones de flujo (que influyen sobre los coeficientes de película, h), así como la configuración geométrica.

Tabla 2*Estimaciones coeficientes globales de transferencia de calor*

| Combinación de fluidos | <i>U</i> | |
|---|--------------------------------|----------------------|
| | Btu/hr – pie ² – °F | W/m ² – K |
| Aceite a aceite | 30-55 | 200-1000 |
| Sustancias orgánicas a sustancias orgánicas | 10-60 | 57-340 |
| Vapor de agua a: | | |
| Soluciones acuosas | 100-600 | 567-3400 |
| Aceite combustible, pesado | 10-30 | 57-170 |
| Liviano | 30-60 | 170-340 |
| Gases | 5-50 | 28-284 |
| Agua | 175-600 | 993-3400 |
| Agua a: | | |
| Alcohol | 50-150 | 284-850 |
| Salmuera | 100-200 | 567-1135 |
| Aire comprimido | 10-30 | 57-170 |
| Alcohol condensado | 45-120 | 255-680 |
| Amoniaco condensado | 150-250 | 850-1420 |
| Freón 12 condensado | 80-150 | 454-850 |
| Aceite condensado | 40-100 | 227-567 |
| Gasolina | 60-90 | 340-510 |
| Aceite lubricante | 20-60 | 113-340 |
| Solventes orgánicos | 50-150 | 284-850 |
| Agua | 150-300 | 850-1700 |

Nota. Esta tabla indica valores estimados del coeficiente global de transferencia de calor entre varios fluidos.

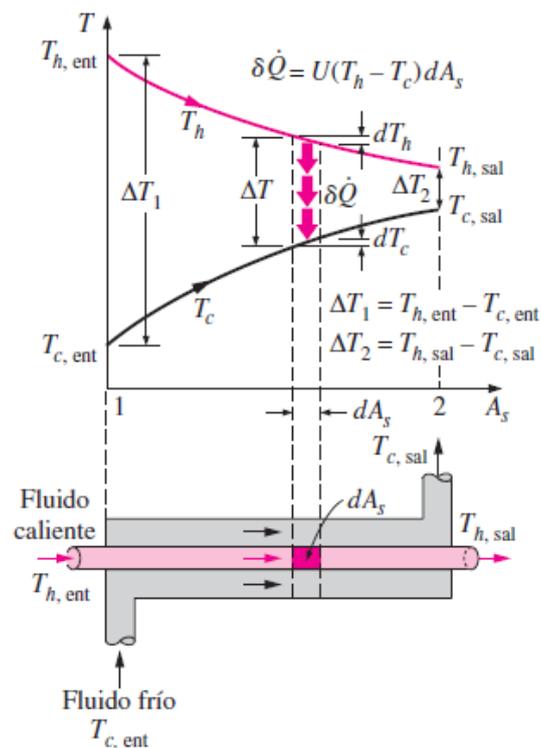
Diferencia media logarítmica de temperatura

Antes de efectuar los cálculos de transferencia de calor es necesario definir el termino restante de la ecuación (4). $\overline{\Delta T}$. Considérese, por ejemplo, un intercambiador de tubo doble y flujo paralelo, cuyos perfiles de temperatura se muestran en la figura 7, además se harán las siguientes suposiciones:

1. U es constante a través de todo el intercambiador
2. El sistema es adiabático: existe intercambio de calor únicamente entre los dos fluidos
3. Las temperaturas de los dos fluidos son constantes en una sección transversal determinada y se pueden representar mediante las temperaturas medias volumétricas.
4. Los calores específicos de los fluidos son constantes.

Figura 7

Variación de las temperaturas de los fluidos en un intercambiador de calor



$$q = UA \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)} \quad (8)$$

$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)} \equiv \Delta T_{ml} \quad (9)$$

Nota. Se observa la variación de temperaturas que entran y salen del intercambiador de calor de tubo doble y flujo paralelo. Tomado de (Çengel, 2011).

Esta diferencia promedio efectiva de temperatura se denomina también como la diferencia logarítmica de temperatura y las ecuaciones (8) y (9) pueden emplearse para otros tipos de intercambiadores de calor.

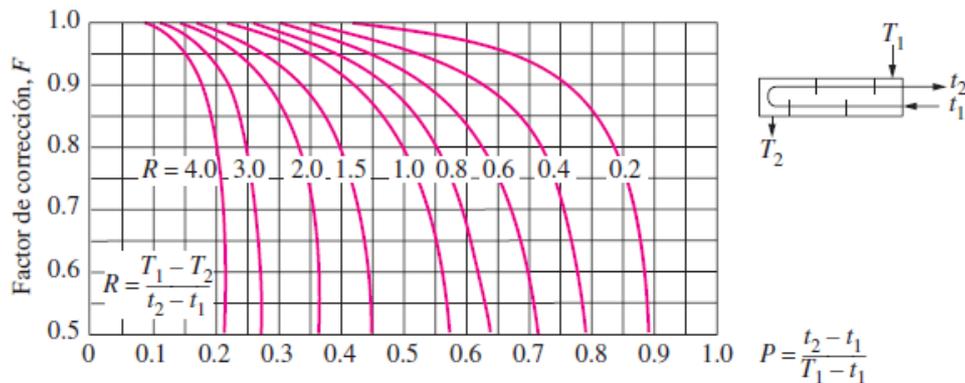
Factores de corrección para intercambiadoras de calor

El factor de corrección es un parámetro utilizado en el análisis y diseño de intercambiadores de calor, este factor tiene en cuenta diversas consideraciones prácticas y limitaciones del mundo real que pueden afectar el rendimiento de estos dispositivos. Se utiliza para ajustar los cálculos teóricos y modelos ideales a las condiciones reales de operación, teniendo en cuenta factores como la distribución no uniforme de la velocidad del fluido, las pérdidas de presión y las imperfecciones geométricas, es decir estimaciones más precisas de la eficiencia y capacidad de transferencia de calor de un intercambiador en situaciones prácticas (Çengel, 2011).

El factor de corrección es aplicable para diversos tipos de intercambiadores de calor, en este caso se enfocará en el diseño de un intercambiador de calor de un paso por la coraza como se indica a continuación:

Figura 8

Factor de corrección para intercambiadores de calor un paso por la carcasa y un número par de pasos por los tubos



Nota. Se observa el diagrama mediante la cual se determina el factor de corrección para intercambiadores de calor comunes de tubo y coraza de flujo contracorriente. Tomado de (Çengel, 2011).

Número de Reynolds

El número de Reynolds es un parámetro adimensional, el cual proporciona información sobre la transición entre el flujo laminar y el flujo turbulento en un sistema. Es una herramienta esencial para predecir el comportamiento del flujo en distintas situaciones, siendo fundamental en el diseño y análisis de sistemas de tuberías, conductos y otros dispositivos en los que la naturaleza del flujo es crítica para su funcionamiento (Çengel, 2011).

$$Re = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{VL_c}{\nu} = \frac{\rho VL_c}{\mu} \quad (10)$$

Número de Nusselt

El número describe la eficiencia de la transferencia de calor entre un fluido y una superficie sólida en función de la convección, por ende, el número de Nusselt es crucial para comprender y optimizar el rendimiento de los intercambiadores de calor a determinadas condiciones (Çengel, 2011).

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = \frac{h\Delta T}{k \frac{\Delta T}{L_c}} = \frac{\dot{q}_{conv}}{\dot{q}_{cond}} \quad (11)$$

Número de Prandtl

El número de Prandtl proporciona información sobre la relación entre la transferencia de calor por conducción y la transferencia de calor por convección en fluidos, además permite comprender el comportamiento térmico de los fluidos en intercambiadores de calor y se utiliza en el diseño y análisis de estos dispositivos para garantizar una eficiente transferencia de calor en diversas aplicaciones industriales.

$$Pr = \frac{\text{velocidad de difusión viscosa}}{\text{velocidad de difusión térmica}} = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (12)$$

Correlaciones empíricas para la convección forzada turbulenta

Estas correlaciones son herramientas fundamentales en el análisis y diseño de sistemas de transferencia de calor, particularmente en donde el flujo del fluido es turbulento.

Estas expresiones empíricas suelen estar relacionadas con el número de Reynolds, el número de Prandtl y otras variables relevantes para el fenómeno de convección forzada. Al proporcionar una relación cuantitativa entre diferentes parámetros, las correlaciones empíricas permiten estimar de manera eficaz los coeficientes de transferencia de calor en condiciones turbulentas, facilitando el diseño preciso de intercambiadores de calor.

Tabla 3

Correlaciones de transferencia de calor para líquidos y gases en flujo incompresible a través de tubos y conductos

| Referencia | Fórmula | Condiciones |
|----------------|---|----------------------|
| Dittus-Boelter | $\overline{Nu}_D = 0.23 Re_D^{0.08} Pr^n$ | $0.5 < Pr < 120$ |
| | $n \begin{cases} = 0.4 \text{ para calentamiento} \\ = 0.3 \text{ para enfriamiento} \end{cases}$ | $6000 < Re_D < 10^7$ |

| Referencia | Fórmula | Condiciones |
|----------------|---|---|
| Sieder-Tate | $\overline{Nu}_D = 0.027 Re_D^{0.8} Pr^{0.3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0.14}$ | $6000 < Re_D < 10^7$ $0.7 < Pr < 10^4$ |
| | $\overline{Nu}_D = \frac{(f/8) Re_D Pr}{K_1 + K_2 (f/8)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)}$ | |
| | $\text{donde } f = (1.82 \log_{10} Re_D - 1.64)^{-2}$ | $0.5 < Pr < 2000$ |
| Petukhov-Popov | $K_1 = 1 + 3.4f$ $K_2 = 11.7 + \frac{1.8}{Pr^{1/3}}$ | $10^4 < Re_D < 5 \times 10^6$ |
| | $\overline{Nu}_D = 5 + 0.015 Re_D^a Pr_s^b$ | $0.1 < Pr < 10^5$ |
| Sleicher-Rouse | $\text{donde } a = 0.88 - \frac{0.24}{4 + Pr_s}$ $b = 1/3 + 0.5e^{-0.6Pr_s}$ | $10^4 < Re_D < 10^6$ |

Nota. Esta tabla indica la formulación a emplear para determinar el número de Nusselt dependiendo de las condiciones del número de Prandtl y Reynolds. Obtenido de (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

Conceptos básicos de instrumentación

Sensores

Los sensores son dispositivos diseñados para detectar y medir cambios en su entorno, convirtiendo señales físicas, químicas en datos eléctricos o digitales. Estos dispositivos desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones, ya que permiten monitorear, controlar y responder a condiciones específicas (Bolton, 2006).

Voltaje

El voltaje impulsa el flujo de corriente eléctrica en un circuito, siendo esencial para el funcionamiento de dispositivos eléctricos y electrónicos.

Amperio

Indica la cantidad de carga eléctrica que fluye por un punto en un conductor en un período de tiempo determinado.

Tipos de señales

Las señales son representaciones variables de información codificada que transmiten mensajes o datos a través de diferentes medios (Zapata & Topón Visarrea, 2021).

Señales analógicas

Las señales analógicas son representaciones continuas de información que varían de manera sucesiva y gradual a lo largo del tiempo, estas señales se caracterizan por tener un rango infinito de valores posibles en cualquier intervalo de tiempo dado.

Señales discretas

Son representaciones de información que toman valores en puntos específicos y separados en el tiempo o en el espacio, compuestas por valores distintos y aislados, con una separación definida entre ellos.

Señales continuas

Las señales continuas son representaciones de información que varían de manera suave y continua en el tiempo o en el espacio, tienen una variación ininterrumpida a lo largo de un rango infinito de valores en cualquier intervalo de tiempo dado.

Señales de control

Generalmente se presentan en forma de voltajes o corrientes, que se utilizan para dirigir o influir en el comportamiento de sistemas automáticos o procesos, es decir se utilizan para ajustar y regular el funcionamiento de dispositivos o procesos en tiempo real.

Acondicionamiento de señales

Se refiere al conjunto de técnicas y procesos utilizados para modificar, ajustar o mejorar las características de una señal, con el objetivo de que sea más adecuada para su posterior procesamiento o transmisión, este proceso puede incluir la amplificación, filtrado, conversión de formatos, atenuación o cualquier otro cambio necesario para adaptar la señal a los requisitos específicos de un sistema o aplicación (Bolton, 2006).

Sistemas de adquisición de datos

Es un conjunto integrado de hardware y software diseñado para capturar, procesar y almacenar información proveniente de sensores o dispositivos de medición, convirtiendo señales físicas, como temperatura, presión, voltaje o cualquier otra magnitud, en datos digitales que pueden ser analizados y utilizados para tomar decisiones, monitorear sistemas o realizar investigaciones (Zapata & Topón Visarrea, 2021).

Figura 9

Estructura del sistema de adquisición de datos



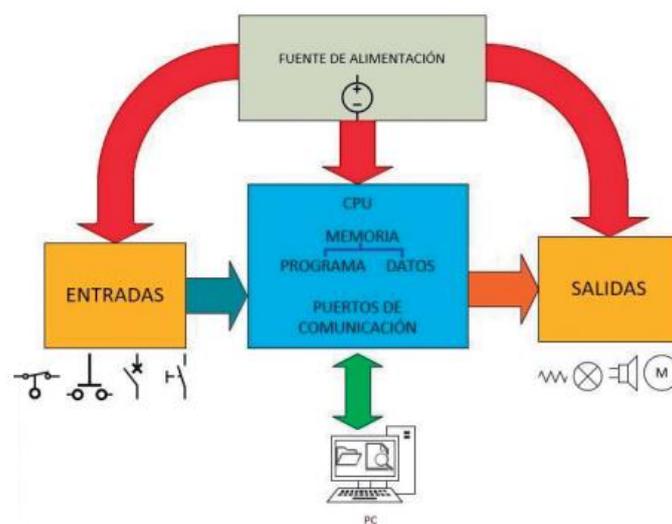
Nota. Se observa un ejemplo de cómo está conformado el sistema de adquisición de datos y como se da su funcionamiento desde la lectura de los sensores hasta su visualización en la HMI.

Controladores lógicos programables (PLC)

Son dispositivos está diseñados para monitorear entradas, como señales de sensores y pulsadores, y ejecutar acciones de salida basadas en un programa lógico predefinido, de tal forma que pueda realizar tareas de control, como el encendido y apagado de motores, la regulación de procesos y la gestión de sistemas complejos (Zapata & Topón Visarrea, 2021).

Figura 10

Arquitectura del PLC



Nota. Se observa la estructura y los componentes que parte del PLC. Tomado de (Zapata & Topón Visarrea, 2021).

Tipos de PLC

PLC Compactos:

Estos dispositivos que integran tanto la unidad central de procesamiento como las entradas y salidas en una única carcasa compacta, son adecuados para aplicaciones más simples que requieren menos entradas/salidas y donde el espacio es limitado.

PLC Modulares:

Constan de módulos separados para la unidad central de procesamiento, entradas y salidas, esto proporciona mayor flexibilidad, ya que los módulos pueden intercambiarse o agregarse según las necesidades del sistema, son ideales para aplicaciones más grandes y

complejas, donde se requiere una mayor cantidad de entradas/salidas y una adaptación específica a los requisitos del sistema.

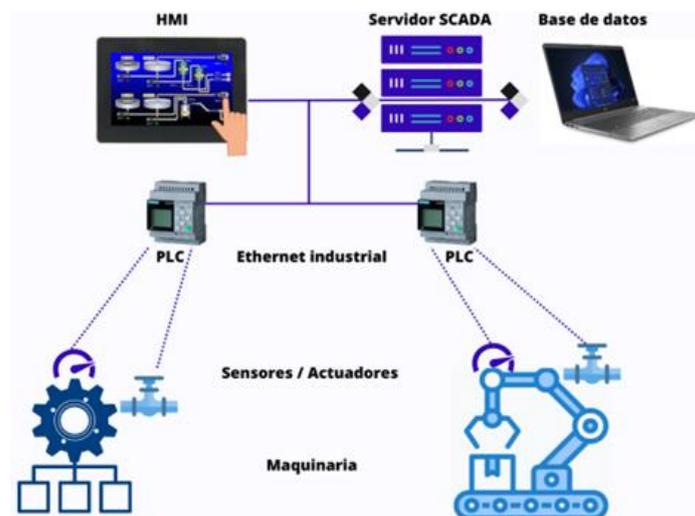
Estos dos tipos de PLC ofrecen opciones versátiles para la automatización industrial, permitiendo a los ingenieros seleccionar el tipo de controlador más adecuado para las demandas específicas de sus procesos y sistemas (Zapata & Topón Visarrea, 2021).

Interfaz Hombre-máquina (HMI)

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es un componente tecnológico que facilita la interacción y comunicación entre un operador humano y un sistema automatizado o computarizado, esta interfaz, a menudo visual y táctil, permite a los usuarios supervisar, controlar y recibir información de un sistema en tiempo real. La HMI presenta datos de manera comprensible a través de gráficos, pantallas y controles interactivos, simplificando la complejidad de los procesos tecnológicos. Este elemento es fundamental en sistemas de control industrial, automación y otros entornos donde se requiere una comunicación efectiva entre el usuario y la tecnología para la supervisión y gestión eficiente de operaciones (Zapata & Topón Visarrea, 2021).

Figura 11

Estructura de la interfaz Hombre-Máquina



Nota. Se observa la estructura y todos los componentes que forman parte de la interfaz Hombre-Máquina. Tomado de (Zapata & Topón Visarrea, 2021).

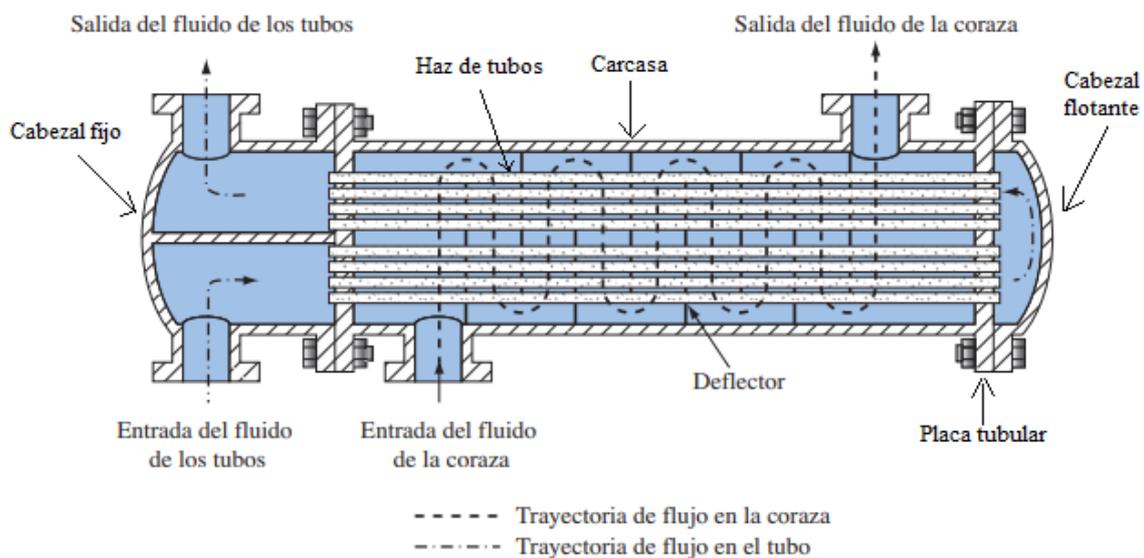
Capítulo III Rediseño Térmico

El rediseño térmico en el presente trabajo consiste en realizar los cálculos, diseño y construcción de un nuevo intercambiador de calor agua-aceite para el banco de pruebas, con el propósito de analizar como varia el rendimiento, eficiencia y el coeficiente de transferencia de calor (U) en comparación con el intercambiador de calor (tubos y coraza contracorriente-flujo paralelo) situado en el laboratorio.

El diseño del intercambiador de calor se basará en la estructura de carcasa y tubos, ya que son uno de los más eficientes, y adicionalmente su construcción y mantenimiento no son complicados, ofreciendo equilibrio entre eficacia y costo.

Figura 12

Intercambiador de calor tubos y coraza con sus respectivos componentes



Nota. Se observa el diseño de un intercambiador de calor de carcasa y tubos con todas sus partes. Tomado de (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

Selección del material para la construcción del intercambiador de calor

En la selección de materiales se debe tener en cuenta varios aspectos importantes, de los cuales van a influencias el rendimiento, durabilidad y eficiencia del intercambiador de calor. Al elegir materiales, es esencial considerar factores como la maquinabilidad, la

resistencia a la corrosión, la conductividad térmica, el mantenimiento y la existencia en el mercado nacional, ya que cada componente del intercambiador de calor como se observa en la figura 12 cumplen una determinada función.

Selección del material para la coraza y cabezales

Los cabezales y coraza para el nuevo intercambiador van a estar sometidos a presiones, variaciones de temperaturas y la exposición a fluidos, por ende, el material adecuado para estos componentes se seleccionó el acero ASTM 53 GR B en base a los parámetros mostrados en la tabla 4.

Escala de valoración: 0-10, (para el costo 0 es el más caro y 10 el más barato)

Tabla 4

Matriz de selección de materiales para la coraza

| Parámetros | Escala | Ponderación | ASTM 53 | ASTM A36 | A304 |
|--|--------|-------------|------------|------------|------------|
| | | | GR B | | |
| Costo | 0-10 | 0.4 | 8/3.2 | 0/0 | 6/2.4 |
| Disponibilidad | 0-10 | 0.15 | 10/1.5 | 10/1.5 | 6/0.9 |
| Tratamientos | 0-10 | 0.05 | 10/0.5 | 8/0.4 | 5/0.2 |
| Resistencia para la corrosión | 0-10 | 0.1 | 8/0.8 | 5/0.5 | 10/1 |
| Conductividad térmica | 0-10 | 0.1 | 9/0.9 | 6/0.6 | 10/1 |
| Soldabilidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 8/0.8 | 4/0.4 |
| Maquinabilidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 9/0.9 | 4/0.4 |
| Total | | 1 | 8.9 | 5.9 | 6.3 |

Selección del material para el haz de tubos

En el haz de tubos se da la transferencia de calor, por lo cual, se necesita un material que tenga una alta conductividad térmica, se selecciona el cobre tipo K, por los parámetros analizados en la tabla 5.

Tabla 5

Selección de tubería interna

| Parámetros | Escala | Ponderación | Cobre tipo K | ASTM A36 | A304 |
|-----------------------|--------|-------------|--------------|----------|------------|
| Costo | 0-10 | 0.3 | 7/2.1 | 3/0.9 | 6/1.8 |
| Disponibilidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 10/0.1 | 6/0.6 |
| Resistencia | | | | | |
| para la | 0-10 | 0.2 | 10/0.2 | 8/1.6 | 5/1 |
| corrosión | | | | | |
| Conductividad | | | | | |
| térmica | 0-10 | 0.2 | 8/1.6 | 5/1 | 10/2 |
| Soldabilidad | 0-10 | 0.1 | 9/0.9 | 6/0.6 | 4/0.4 |
| Maquinabilidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 8/0.8 | 4/0.4 |
| Total | | 1 | 6.8 | 5 | 6.2 |

Selección del material para los deflectores/baffles

Los deflectores son los que generan turbulencia del fluido dentro del intercambiador de calor, se busca un material que resista la presión y los cambios de temperatura que se van a generar dentro de la coraza, por lo siguiente se eligió placas de cobre en base a los parámetros analizados en la tabla 6.

Tabla 6

Selección de baffles

| Parámetros | Escala | Ponderación | Cobre tipo K | ASTM A36 | A304 |
|--|--------|-------------|--------------|----------|------------|
| Costo | 0-10 | 0.3 | 7/2.1 | 3/0.9 | 6/1.8 |
| Disponibilidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 10/0.1 | 6/0.6 |
| Resistencia para la corrosión | 0-10 | 0.2 | 10/2 | 8/1.6 | 5/1 |
| Conductividad térmica | 0-10 | 0.2 | 8/1.6 | 5/1 | 10/2 |
| Soldabilidad | 0-10 | 0.1 | 9/0.9 | 6/0.6 | 4/0.4 |
| Maquinabilidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 8/0.8 | 4/0.4 |
| Total | | 1 | 8.6 | 5 | 6.2 |

Selección del material para la placa tubular

La placa tubular cumple la función de impedir que se mezclen los fluidos dentro del intercambiador de calor, además soporta a los tubos en su interior mediante perforaciones, como se muestra en el anexo A las placas tubulares, van a estar sometidas a las mismas condiciones que la coraza, se selecciona el acero ASTM 53 GR B, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Selección de placas

| Parámetros | Escala | Ponderación | ASTM 53 GR B | ASTM A36 | A304 |
|-----------------------|--------|-------------|--------------|----------|-------|
| Costo | 0-10 | 0.4 | 8/3.2 | 0/0 | 6/2.4 |
| Disponibilidad | 0-10 | 0.15 | 10/1.5 | 10/1.5 | 6/0.9 |

| Parámetros | Escala | Ponderación | ASTM 53 GR B | ASTM A36 | A304 |
|-----------------------|--------|-------------|--------------|------------|------------|
| Tratamientos | 0-10 | 0.05 | 10/0.5 | 8/0.4 | 5/0.2 |
| Resistencia | | | | | |
| para la | 0-10 | 0.1 | 8/0.8 | 5/0.5 | 10/1 |
| corrosión | | | | | |
| Conductividad | 0-10 | 0.1 | 9/0.9 | 6/0.6 | 10/1 |
| térmica | | | | | |
| Soldabilidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 8/0.8 | 4/0.4 |
| Maquinabilidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 9/0.9 | 4/0.4 |
| Total | | 1 | 8.9 | 5.9 | 6.3 |

Selección del material para las bridas

Las bridas permiten que el intercambiador sea desmontable, además permiten realizar un buen mantenimiento a la tubería interna, las mismas se soldaran con las tapas semiesféricas de acero A53 GR B para formar los cabezales del intercambiador, en el mercado se seleccionaron las bridas: STM A105, ANSI B 16.36 RF 150 SCH 40, por los parámetros analizados en la tabla 8.

Tabla 8

Selección de bridas

| Parámetros | Escala | Ponderación | ASTM A105 | ASTM A182F1 | ASTM A182 |
|-----------------------|--------|-------------|-----------|-------------|--------------|
| Costo | 0-10 | 0.3 | 7/2.1 | 3/0.9 | 4/1.2 |
| Disponibilidad | 0-10 | 0.2 | 10/0.2 | 8/0.4 | 5/1 |

| Parámetros | Escala | Ponderación | ASTM A105 | ASTM A182F1 | ASTM A182 |
|-----------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| Resistencia | | | | | |
| para la corrosión | 0-10 | 0.15 | 8/1.2 | 5/0.75 | 10/1.5 |
| Soldabilidad | 0-10 | 0.15 | 9/1.35 | 6/0.9 | 10/1.5 |
| Maquinabilidad | 0-10 | 0.2 | 10/2 | 8/1.6 | 4/0.8 |
| total | | 1 | 6.85 | 4.55 | 6 |

Diseño del intercambiador de calor

Para el diseño del intercambiador de calor se consideraron los datos anteriores del equipo original como referenciales y a partir de estos, se desarrollarán los respectivos cálculos para determinar si se cumple con las especificaciones establecidas en cuanto al rendimiento y posterior mejora de la eficiencia en comparación con el intercambiador de calor original del equipo intervenido.

Mediante una prueba en el banco de pruebas para intercambiadores de calor del laboratorio, (multitubos de un paso y cuatro tubos) se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla 4, los mismos que servirán como línea base para comparar la información obtenida con el nuevo intercambiador.

Datos del intercambiador original:

Tabla 9

Temperaturas, caudales y diámetros de entrada y salida de los fluidos

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|-----------------------------------|----------|---------|
| Temperatura de entrada del aceite | T_{hi} | 65 [°C] |
| Temperatura de salida del aceite | T_{ho} | 31 [°C] |

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|--|----------|-------------------------------|
| Diámetro nominal de la brida entrada de aceite | D_c | 0.01905 [m] |
| Caudal lado del aceite | Q_c | 0.0004167 [m ³ /s] |
| Temperatura de entrada del agua | t_{ci} | 5 [°C] |
| Temperatura de salida del agua | t_{co} | 25.52 [°C] |
| Diámetro nominal de la brida entrada de agua | D_w | 0.01905 [m] |
| Caudal lado del agua | Q_w | 0.0009157 [m ³ /s] |

Cálculo de áreas y velocidades

Cálculo del área y velocidad de entrada del aceite

$$A_c = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (D_c)^2$$

$$A_c = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (0.01905 \text{ m})^2$$

$$A_c = 2.85 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$V_c = \frac{Q_c}{A_c}$$

$$V_c = \frac{0.0008167 \text{ [m}^3\text{/s]}}{2.85 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$V_c = 2.87 \text{ [m/s]}$$

Cálculo del área y velocidad de entrada del agua

$$A_w = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (D_w)^2$$

$$A_w = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (0.0190 \text{ m})^2$$

$$A_w = 2.85 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$V_w = \frac{Q_w}{A_w}$$

$$V_w = \frac{0.0009157 [m^3/s]}{2.85 \times 10^{-4} [m^2]}$$

$$V_w = 3.21 [m/s]$$

Diseño térmico del nuevo intercambiador

Tabla 10

Dimensiones de la tubería de cobre tipo L, ASTM B288 para la conducción del agua

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|-------------------|---------|-------------|
| Longitud | L | 1.84 [m] |
| Diámetro interior | d_i | 0.013 [m] |
| Radio interior | r_i | 0.0065 [m] |
| Diámetro exterior | d_o | 0.016 [m] |
| Radio exterior | r_o | 0.008 [m] |
| Espesor | e | 0.00108 [m] |

Cálculo del área interior y exterior de la tubería de cobre

Área interior

$$A_i = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (d_i)^2 \cdot (L)$$

$$A_i = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (0.013 \text{ m})^2 \cdot (1.84)$$

$$A_i = 2.15 \times 10^{-4} [m^2]$$

Área exterior

$$A_o = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (d_o)^2 \cdot (L)$$

$$A_o = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (0.016 \text{ m})^2 \cdot (1.84)$$

$$A_o = 3.37 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Temperatura media volumétrica para el agua

$$Tb_w = \frac{t_{ci} + t_{co}}{2}$$

$$Tb_w = \frac{5 + 25.52}{2}$$

$$Tb_w = 15.26 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Viscosidad cinemática del agua

Figura 13

Propiedades del agua para el diseño del intercambiador

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

| Temp., T °C | Presión de saturación, P _{sat} , kPa | Densidad, ρ kg/m ³ | | Entalpia de vaporización, h _{fg} , kJ/kg | Calor específico, c _p , J/kg · K | | Conductividad térmica, k W/m · K | | Viscosidad dinámica, μ kg/m · s | | Número de Prandtl, Pr | | Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K |
|----------------|---|----------------------------------|--------|--|---|-------|--|--------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|--|
| | | Líquido | Vapor | | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | |
| 0.01 | 0.6113 | 999.8 | 0.0048 | 2501 | 4217 | 1854 | 0.561 | 0.0171 | 1.792 × 10 ⁻³ | 0.922 × 10 ⁻⁵ | 13.5 | 1.00 | -0.068 × 10 ⁻³ |
| 5 | 0.8721 | 999.9 | 0.0068 | 2490 | 4205 | 1857 | 0.571 | 0.0173 | 1.519 × 10 ⁻³ | 0.934 × 10 ⁻⁵ | 11.2 | 1.00 | 0.015 × 10 ⁻³ |
| 10 | 1.2276 | 999.7 | 0.0094 | 2478 | 4194 | 1862 | 0.580 | 0.0176 | 1.307 × 10 ⁻³ | 0.946 × 10 ⁻⁵ | 9.45 | 1.00 | 0.733 × 10 ⁻³ |
| 15 | 1.7051 | 999.1 | 0.0128 | 2466 | 4186 | 1863 | 0.589 | 0.0179 | 1.138 × 10 ⁻³ | 0.959 × 10 ⁻⁵ | 8.09 | 1.00 | 0.138 × 10 ⁻³ |
| 20 | 2.339 | 998.0 | 0.0173 | 2454 | 4182 | 1867 | 0.598 | 0.0182 | 1.002 × 10 ⁻³ | 0.973 × 10 ⁻⁵ | 7.01 | 1.00 | 0.195 × 10 ⁻³ |

Nota. Búsqueda de las propiedades del agua a la temperatura media volumétrica. Obtenido de (Çengel, 2011).

$$\mu_w = 1.1309 \times 10^{-3} \text{ [kg/m} \cdot \text{s]}$$

$$\rho_w = 999.04 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v_w = \frac{\mu_w}{\rho_w}$$

$$v_w = \frac{1.1309 \times 10^{-3} \text{ [kg/m} \cdot \text{s]}}{999.04 \text{ [kg/m}^3\text{]}}$$

$$v_w = 1.132 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]$$

Número de Reynolds para el agua

$$V_{\text{agua}} = 2.5 [\text{m/s}]$$

$$Re_w = \frac{V_{\text{agua}} \cdot d_i}{v_w}$$

$$Re_w = \frac{(2.5 \text{ m/s}) \cdot (0.013 \text{ m})}{1.132 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]}$$

$$Re_w = 28048.033$$

El número de Reynolds representa convección forzada (flujo turbulento)

Conductividad térmica del agua

$$k_w = 0.589 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Numero de Prandtl

$$Pr_w = 8.033$$

Cálculo del factor de fricción

$$f_w = (0.790 \cdot \ln(Re_w) - 1.64)^{-2}$$

$$f_w = (0.790 \cdot \ln(2.45 \times 10^4) - 1.64)^{-2}$$

$$f_w = 0.024$$

Aplicación de la ecuación de Petukhov-Popov

$$0.5 < 8.03 < 2000$$

$$10^4 < 2.45 \times 10^4 < 5 \times 10^6$$

$$\overline{Nu}_D = \frac{(f/8) Re_D Pr}{K_1 + K_2 (f/8)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$K_1 = 1 + 3.4f$$

$$K_1 = 1 + 3.4(0.025)$$

$$K_1 = 1.07$$

$$K_2 = 11.7 + \frac{1.8}{Pr^{1/3}}$$

$$K_2 = 11.7 + \frac{1.8}{(8.03)^{1/3}}$$

$$K_2 = 12.7$$

$$\overline{Nu}_D = \frac{\left(\frac{0.025}{8}\right) \cdot (2.45 \times 10^4) \cdot (8.03)}{1.07 + 12.7 \left(\frac{0.025}{8}\right)^{1/2} (8.03^{2/3} - 1)}$$

$$\overline{Nu}_D = 213.779$$

Despejamos

$$\overline{Nu}_D = \frac{hi_w \cdot d_i}{k_w}$$

Coeficiente de convección para el agua

$$hi_w = \frac{\overline{Nu}_D \cdot k_w}{d_i}$$

$$hi_w = \frac{(213.779) \cdot (0.589 \text{ W/m}^\circ\text{K})}{0.013 \text{ m}}$$

$$hi_w = 99914.637 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}} \right]$$

Haz de tunos en flujo transversal

Cálculo del coeficiente de convección externo

Longitud transversal 1

$$L_1 = \frac{11.5}{1000} = 0.0115 \text{ [m]}$$

Longitud transversal 2

$$L_2 = \frac{19.92}{1000} = 0.01992 \text{ [m]}$$

Área transversal por donde pasa el fluido

$$A_{trans} = (L_1) \cdot (L_2)$$

$$A_{trans} = (0.0115 \text{ m}) \cdot (0.01992 \text{ m})$$

$$A_{trans} = 2.291 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Velocidad de ingreso del aceite

$$V_{i_c} = \frac{Q_c}{A_{trans}}$$

$$V_{i_c} = \frac{8.167 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]}}{2.291 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$V_{i_c} = 3.565 \text{ [m/s]}$$

Tabla 11

Dimensiones de la coraza y baffles para el intercambiador de calor

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|---------------------------------------|----------------|--------------|
| Diámetro interior de la coraza | dc_i | 0.127 [m] |
| Radio interior de la coraza | rc_i | 0.0635 [m] |
| Diámetro exterior de la coraza | dc_o | 0.141 [m] |

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|-----------------------------|---------|---------------------------|
| Radio exterior de la coraza | rc_o | 0.0705 [m] |
| Espesor de la coraza | ec | 7.15×10^{-3} [m] |
| Espesor del baffle | eb | 3×10^{-3} [m] |

La separación entre baffles B no debe ser menor a $1/5 dc_i$ ni tampoco menor al dc_i de la coraza (Kern, 1965).

Distancia mínima de separación entre baffles

$$B_{min} = \frac{dc_i}{5}$$

$$B_{min} = \frac{0.127 [m]}{5}$$

$$B_{min} = 0.025 [m]$$

Distancia máxima de separación entre baffles

$$B_{max} = dc_i$$

$$B_{max} = 0.127 [m]$$

Cálculo del número de baffles

$$B = \frac{L/2}{dc_i}$$

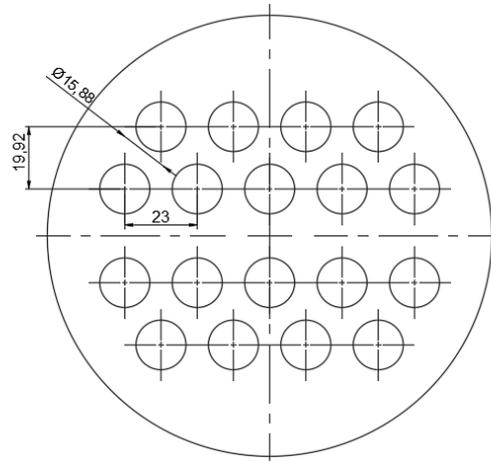
$$B = \frac{\frac{1.84 [m]}{2}}{0.127 [m]}$$

$$B = 7.244 \approx 8 \text{ baffles}$$

Disposición para los tubos escalonados

Figura 14

Dimensiones del escalonamiento de los tubos



Nota. Plano con distribución escalonada fuente los autores

$$a = \frac{23}{1000} = 0.023 \text{ [m]}$$

$$b = \frac{19.92}{1000} = 0.01992 \text{ [m]}$$

Nota. Se transforma a metros y se redondea a valores para facilitar los cálculos

Cálculo de Min1 y Min2 para obtener la velocidad máxima del aceite.

Min1

$$Min_1 = \frac{a - (d_o)}{2}$$

$$Min_1 = \frac{0.023m - (0.01992 m)}{2}$$

$$Min_1 = 3.56 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

Min2

$$Min_2 = \left[\sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + b^2} \right] - d_o$$

$$Min_2 = \left[\sqrt{\left(\frac{0.023 \text{ m}}{2}\right)^2 + (0.01992 \text{ m})^2} \right] - (0.016 \text{ m})$$

$$Min_2 = 7.121 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

Cálculo de la velocidad máxima con la que fluye el aceite

$$Vmax_c = \frac{V_{i_c} \cdot a}{2 \cdot Min_1}$$

$$Vmax_c = \frac{(3.565 \text{ m/s}) \cdot (0.023 \text{ m})}{(2) \cdot (3.56 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$Vmax_c = 11.52 \text{ [m/s]}$$

Temperatura media volumétrica para el aceite

$$Tb_c = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2}$$

$$Tb_c = \frac{65 + 31}{2}$$

$$Tb_c = 48 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Figura 15

Propiedades del aceite de motor - transformador

TABLA 17 Aceite para motores sin usar

| Temperatura, <i>T</i> | | Densidad, ρ (kg/m ³) | Coficiente de dilatación térmica, $\beta \times 10^3$ (1/K) | Calor específico, c_p (J/kg K) | Conductividad térmica, k (W/m K) | Difusividad térmica, $\alpha \times 10^{10}$ (m ² /s) | Viscosidad absoluta, $\mu \times 10^3$ (N s/m ²) | Viscosidad cinemática, $\nu \times 10^5$ (m ² /s) | Número de Prandtl, Pr | $\frac{g\beta}{\nu^2}$ (1/K m ³) |
|--------------------------|-----|---|---|---|---|---|---|---|--|---|
| °F | K | °C | $\times 6.243 \times 10^{-2}$ = (lb _m /ft ³) | $\times 0.5556$ = (1/R) | $\times 2.388 \times 10^{-4}$ = (Btu/lb _m °F) | $\times 0.5777$ = (Btu/h ft °F) | $\times 3.874 \times 10^4$ = (ft ² /h) | $\times 0.6720$ = (lb _m /ft s) | $\times 3.874 \times 10^4$ = (ft ² /h) | $\times 1.573 \times 10^{-2}$ = (1/R ft ³) |
| 32 | 273 | 0 | 899.1 | | 1796 | 0.147 | 911 | 3848 | 4280 | 471 |
| 68 | 293 | 20 | 888.2 | 0.648 | 1880 | 0.145 | 872 | 799 | 900 | 104 |
| 104 | 313 | 40 | 876.1 | 0.691 | 1964 | 0.144 | 834 | 210 | 240 | 28.7 |
| 140 | 333 | 60 | 864.0 | 0.697 | 2047 | 0.140 | 800 | 72.5 | 83.9 | 10.5 |
| 176 | 353 | 80 | 852.0 | 0.704 | 2131 | 0.138 | 769 | 32.0 | 37.5 | 4.90 |
| 212 | 373 | 100 | 840.0 | 0.684 | 2219 | 0.137 | 738 | 17.1 | 20.3 | 2.76 |
| 248 | 393 | 120 | 829.0 | 0.697 | 2307 | 0.135 | 710 | 10.3 | 12.4 | 1.75 |
| 284 | 413 | 140 | 816.9 | 0.706 | 2395 | 0.133 | 686 | 6.54 | 8.0 | 1.16 |
| 320 | 433 | 160 | 805.9 | | 2483 | 0.132 | 663 | 4.51 | 5.6 | 0.84 |

Fuente: E.R.G. Eckert y R.M. Drake, *Analysis of Heat and Mass Transfer*, McGraw-Hill, Nueva York, 1972.

Nota. Se obtiene todas las propiedades termo físicas para el aceite a temperatura media.
Obtenido de (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

$$v_c = 1.776 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}]$$

Conductividad térmica del aceite de motor - transformador

$$k_c = 0.1424 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Densidad del aceite de motor - transformador

$$\rho_c = 861.66 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Capacidad calorífica del aceite de motor - transformador (

$$Cp_c = 1997.2 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

Número de Reynolds para el aceite

$$Vmax_c = 11.517 [\text{m/s}]$$

$$Re\ max_c = \frac{Vmax_c \cdot d_o}{v_c}$$

$$Re\ max_c = \frac{(11.517\ \text{m/s}) \cdot (0.016\ \text{m})}{1.776 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}]}$$

$$Re\ max_c = 1721.038$$

Cálculo de las constantes C1 y n

$$\frac{a}{d_o} = \frac{0.023}{0.016}$$

$$\frac{a}{d_o} = 1.448$$

$$\frac{b}{d_o} = \frac{0.01992}{0.016}$$

$$\frac{b}{d_o} = 1.254$$

Figura 16

Búsqueda de los valores calculados

| $\frac{b}{D}$ | a/D | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1.25 | | 1.5 | | 2 | | 3 | |
| | C_1 | n | C_1 | n | C_1 | n | C_1 | n |
| In-line tubes: | | | | | | | | |
| 1.25 | 0.348 | 0.592 | 0.275 | 0.608 | 0.100 | 0.704 | 0.0633 | 0.752 |
| 1.5 | 0.367 | 0.586 | 0.250 | 0.620 | 0.101 | 0.702 | 0.0678 | 0.744 |
| 2 | 0.418 | 0.570 | 0.299 | 0.602 | 0.229 | 0.632 | 0.198 | 0.648 |
| 3 | 0.290 | 0.601 | 0.357 | 0.584 | 0.374 | 0.581 | 0.286 | 0.608 |
| Staggered tubes: | | | | | | | | |
| 0.6 | | | | | | | 0.213 | 0.636 |
| 0.9 | | | | | 0.446 | 0.571 | 0.401 | 0.581 |
| 1 | | | 0.497 | 0.558 | | | | |
| 1.125 | | | | | 0.478 | 0.565 | 0.518 | 0.560 |
| 1.25 | 0.518 | 0.556 | 0.505 | 0.554 | 0.519 | 0.556 | 0.522 | 0.562 |
| 1.5 | 0.451 | 0.568 | 0.460 | 0.562 | 0.452 | 0.568 | 0.488 | 0.568 |
| 2 | 0.404 | 0.572 | 0.416 | 0.568 | 0.482 | 0.556 | 0.449 | 0.570 |
| 3 | 0.310 | 0.592 | 0.356 | 0.580 | 0.440 | 0.562 | 0.421 | 0.574 |

| | Number of Tubes | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Staggered | 0.68 | 0.75 | 0.83 | 0.89 | 0.92 | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.00 |
| In-line | 0.64 | 0.80 | 0.87 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.96 | 0.98 | 0.99 | 1.00 |

Nota. Representa los valores para el cálculo del coeficiente por convección para el aceite.

Obtenido de (Pitts & Sissom, 1979).

$$C_{1c} = 0.451$$

$$n_c = 0.568$$

Cálculo del coeficiente de transferencia por convección del aceite

$$ho_c = \frac{C1_c \cdot (Re \max_c)^{n_c} \cdot k_c}{d_o}$$

$$ho_c = \frac{(0.451) \cdot (1721.038)^{0.556} \cdot 0.142 \text{ W/m}^\circ\text{K}}{0.016 \text{ m}}$$

$$ho_c = 275.677 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

Conductividad térmica del cobre

$$k_{cu} = 372.1 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor limpio

$$U_{lim} = \frac{1}{\frac{r_o}{r_i \cdot hi_w} + \frac{r_o \cdot \ln(r_o/r_i)}{k_{cu}} + \frac{1}{ho_c}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{0.008 \text{ m}}{(0.0065 \text{ m}) \cdot \left(9914.6369 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}\right)} + \frac{(0.008 \text{ m}) \cdot \ln\left(\frac{0.008 \text{ m}}{0.0065 \text{ m}}\right)}{\left(372.1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}}\right)} + \frac{1}{275.677 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}}}$$

$$U_{lim} = 266.076 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

Factor de corrección del intercambiador de calor

Cálculo del parámetro P

$$P = \frac{t_{co} - t_{ci}}{T_{hi} - t_{ci}}$$

$$P = \frac{25.52 - 5}{65 - 5}$$

$$P = 0.342$$

Cálculo del parámetro Z

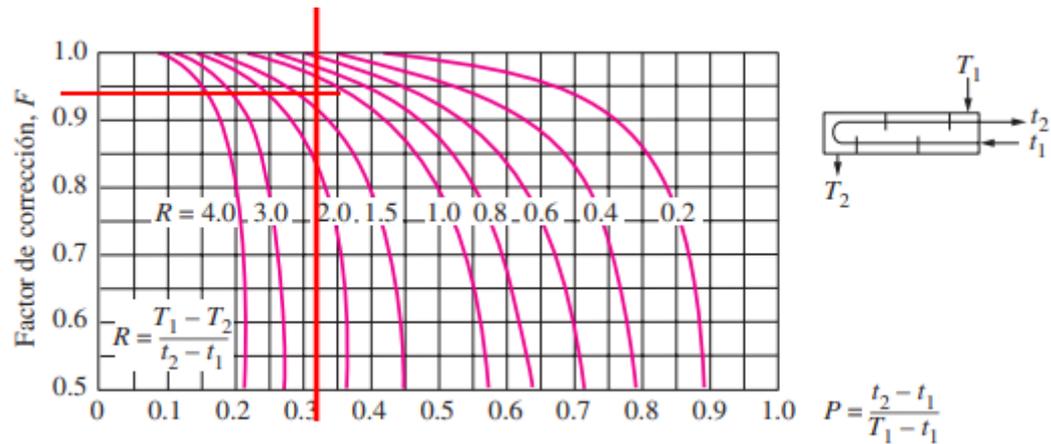
$$Z = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{t_{co} - t_{ci}}$$

$$Z = \frac{65 - 31}{25.52 - 5}$$

$$Z = 1.657$$

Figura 17

Cálculo del factor de corrección



Nota. Se muestra el factor de corrección para el intercambiador a construir. Obtenido de (Çengel, 2011)

$$F_{corr} = 0.94$$

Cálculo de la temperatura media logarítmica

$$\Delta T_1 = T_{ho} - t_{ci}$$

$$\Delta T_1 = 65 - 25.52$$

$$\Delta T_1 = 39.48 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta T_2 = T_{hi} - t_{co}$$

$$\Delta T_2 = 31 - 5$$

$$\Delta T_2 = 32.272 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{32.272 - 1}{\ln\left(\frac{32.272}{39.48}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 32.272 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta T_{ml} = 305.272 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Conductividad térmica del acero

$$k_{ac} = 58 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$$

Cálculo del área de la carcasa del intercambiador de calor

$$A_{carcasa} = \pi \cdot d_{c_o} \cdot L$$

$$A_{carcasa} = \pi \cdot (0.141 \text{ m}) \cdot (1.84 \text{ m})$$

$$A_{carcasa} = 0.817 \text{ [m}^2\text{]}$$

Figura 18

conductividad del aire

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

| Temp., $T, ^\circ\text{C}$ | Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$ | Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$ | Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$ | Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$ | Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$ | Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$ | Número de Prandtl, Pr |
|-------------------------------|------------------------------------|---|---|--|--|---|-----------------------------|
| -150 | 2.866 | 983 | 0.01171 | 4.158×10^{-6} | 8.636×10^{-6} | 3.013×10^{-6} | 0.7246 |
| -100 | 2.038 | 966 | 0.01582 | 8.036×10^{-6} | 1.189×10^{-6} | 5.837×10^{-6} | 0.7263 |
| -50 | 1.582 | 999 | 0.01979 | 1.252×10^{-5} | 1.474×10^{-5} | 9.319×10^{-6} | 0.7440 |
| -40 | 1.514 | 1 002 | 0.02057 | 1.356×10^{-5} | 1.527×10^{-5} | 1.008×10^{-5} | 0.7436 |
| -30 | 1.451 | 1 004 | 0.02134 | 1.465×10^{-5} | 1.579×10^{-5} | 1.087×10^{-5} | 0.7425 |
| -20 | 1.394 | 1 005 | 0.02211 | 1.578×10^{-5} | 1.630×10^{-5} | 1.169×10^{-5} | 0.7408 |
| -10 | 1.341 | 1 006 | 0.02288 | 1.696×10^{-5} | 1.680×10^{-5} | 1.252×10^{-5} | 0.7387 |
| 0 | 1.292 | 1 006 | 0.02364 | 1.818×10^{-5} | 1.729×10^{-5} | 1.338×10^{-5} | 0.7362 |
| 5 | 1.269 | 1 006 | 0.02401 | 1.880×10^{-5} | 1.754×10^{-5} | 1.382×10^{-5} | 0.7350 |
| 10 | 1.246 | 1 006 | 0.02439 | 1.944×10^{-5} | 1.778×10^{-5} | 1.426×10^{-5} | 0.7336 |
| 15 | 1.225 | 1 007 | 0.02476 | 2.009×10^{-5} | 1.802×10^{-5} | 1.470×10^{-5} | 0.7323 |
| 20 | 1.204 | 1 007 | 0.02514 | 2.074×10^{-5} | 1.825×10^{-5} | 1.516×10^{-5} | 0.7309 |
| 25 | 1.184 | 1 007 | 0.02551 | 2.141×10^{-5} | 1.849×10^{-5} | 1.562×10^{-5} | 0.7296 |
| 30 | 1.164 | 1 007 | 0.02588 | 2.208×10^{-5} | 1.872×10^{-5} | 1.608×10^{-5} | 0.7282 |
| 35 | 1.145 | 1 007 | 0.02625 | 2.277×10^{-5} | 1.895×10^{-5} | 1.655×10^{-5} | 0.7268 |

Nota. Valores de las propiedades termo físicas del aire. Obtenido de (Çengel, 2011)

Viscosidad cinemática del aire ambiente

$$v_{aire} = (0.000159476) \cdot (9.290304 \times 10^{-2})$$

$$v_{aire} = 1.482 \times 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Conductividad térmica del aire

$$k_{air} = 0.0148394 \cdot 1.729577$$

$$k_{air} = 0.026 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$$

Número de Prandtl para el aire

$$Pr_{air} = 0.70996$$

Velocidad del aire alrededor del intercambiador de calor

$$V_{air} = 0.2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Cálculo del número de Reynolds para el aire

$$Re_{air} = \frac{V_{air} \cdot dc_o}{v_{air}}$$

$$Re_{air} = \frac{(0.2 \text{ m/s}) \cdot (0.141 \text{ m})}{(1.482 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})}$$

$$Re_{air} = 1907.422$$

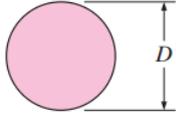
Cálculo de las constantes C y m

Figura 19

Constantes para ecuación de flujo contracorriente

TABLA 7-1

Correlaciones empíricas para el número de Nusselt promedio, para convección forzada sobre cilindros circulares y no circulares en flujo cruzado (tomado de Zukauskas, Ref. 14, y Jakob, 1949)

| Sección transversal del cilindro | Fluido | Rango de Re | Número de Nusselt |
|--|---------------|----------------|---------------------------------|
| Círculo  | Gas o líquido | 0.4-4 | $Nu = 0.989Re^{0.330} Pr^{1/3}$ |
| | | 4-40 | $Nu = 0.911Re^{0.385} Pr^{1/3}$ |
| | | 40-4 000 | $Nu = 0.683Re^{0.466} Pr^{1/3}$ |
| | | 4 000-40 000 | $Nu = 0.193Re^{0.618} Pr^{1/3}$ |
| | | 40 000-400 000 | $Nu = 0.027Re^{0.805} Pr^{1/3}$ |

Nota. Valores utilizados para el cálculo del número de Nusselt para el aire. Obtenido de (Çengel, 2011)

$$40 < Re < 4000$$

$$C_{air} = 0.683$$

$$m_{air} = 0.466$$

Cálculo del número de Nusselt

$$\overline{Nu}_{air} = C_{air} \cdot Re_{air}^{m_{air}} \cdot m_{air}^{1/3}$$

$$\overline{Nu}_{air} = (0.683) \cdot (1907.422)^{0.499} \cdot (0.499)^{1/3}$$

$$\overline{Nu}_{air} = 17.88$$

Cálculo del coeficiente de transferencia por convección del aire

$$h_{o_{air}} = \frac{\overline{Nu}_{air} \cdot k_{air}}{dc_o}$$

$$h_{o_{air}} = \frac{(17.88) \cdot (0.026 \text{ W/m}^\circ\text{K})}{(0.141 \text{ m})}$$

$$h_{o_{air}} = 3.249 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor en la coraza

$$U_{cor} = \frac{1}{\frac{rc_o}{rc_i \cdot ho_c} + \frac{rc_o \cdot \ln(r_o/r_i)}{k_{ac}} + \frac{1}{ho_{air}}}$$

$$U_{cor} = \frac{1}{\frac{0.0705 \text{ m}}{(0.0635 \text{ m}) \cdot \left(275.677 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{(0.0705 \text{ m}) \cdot \ln\left(\frac{0.0705 \text{ m}}{0.0635 \text{ m}}\right)}{\left(58 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)} + \frac{1}{3.249 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}}}$$

$$U_{cor} = 3.206 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Temperatura medio del aire

$$Tb_{air} = 22 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Cálculo de la transferencia de calor en la carcasa del intercambiador de calor

$$Q_{o_{air}} = U_{cor} \cdot A_{carcasa} \cdot (Tb_c - Tb_{air})$$

$$Q_{o_{air}} = \left(3.206 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right) \cdot (0.755 \text{ m}^2) \cdot (48 \text{ }^\circ\text{C} - 22 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{o_{air}} = 68.081 \text{ watts}$$

Cálculo de la transferencia de calor total del intercambiador de calor

$$Q_{total} = U_{lim} \cdot [Nt \cdot \pi \cdot d_o \cdot L] \cdot F_{corr} \cdot \Delta T_{ml}$$

$$Q_{total} = \left(266.076 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right) \cdot (9) \cdot (\pi) \cdot (0.016 \text{ m}) \cdot (1.84 \text{ m}) \cdot (0.94) \cdot (305.272 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$Q_{total} = 6668.415 \text{ watts}$$

El número de tubos se realiza una estimación mediante la figura debido a la superficie disponible como el intercambiador está diseñado es de doble carrera el número total de tubos es de:

$$Nt_{total} = 18 \text{ tubos}$$

Cálculo de la eficiencia del intercambiador

Método NTU

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{min}} = \frac{UA_s}{(\dot{m}Cp)_{min}}$$

$$C_{min} = (\dot{m}Cp)_{aceite}$$

$$C_{min} = (0.916 * 4205)_{aceite}$$

$$C_{min} = 3.850 \text{ kw/C}$$

$$C_{max} = (\dot{m}Cp)_{agua}$$

$$C_{min} = (0.704 * 861.66)_{agua}$$

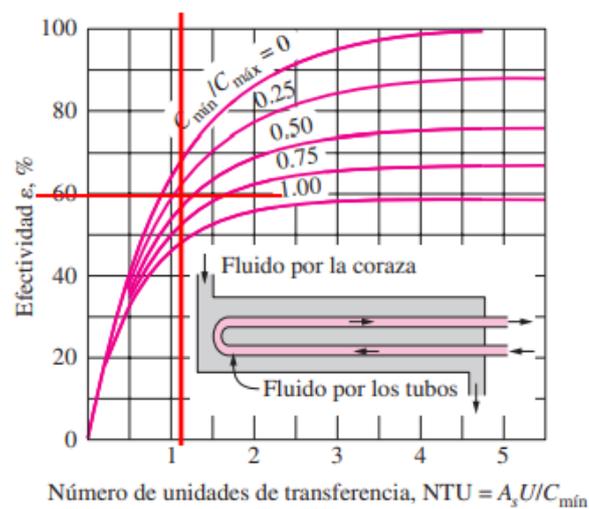
$$C_{min} = 1.44 \text{ kw/C}$$

$$c = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{1.44}{3.85} = 0.374$$

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{min}} = 1.07$$

Figura 20

efectividad del intercambiador de calor



Nota. Se observa que la efectividad del intercambiador a construir es del 59%. Obtenido de (Çengel, 2011)

$$\varepsilon = 2 \left[1 + c + \sqrt{1 + c^2} \frac{1 + e^{-NTU*\sqrt{1+c^2}}}{1 - e^{-NTU*\sqrt{1+c^2}}} \right]^{-1}$$

$$\varepsilon = 0.588 \approx 59\%$$

El valor de la efectividad del intercambiador nos da en 59% tanto con el método NTU y con la ecuación de efectividad.

Simulación del diseño del intercambiador de calor tubos y coraza diseñado por método computacional usando SolidWorks

El proceso de simular el funcionamiento del intercambiador de calor diseñado implica modelar con precisión el intercambiador, asignar propiedades térmicas a los materiales, y definir condiciones de contorno para representar de manera realista el entorno de operación. SolidWorks, una herramienta líder en diseño asistido por computadora, facilitara este análisis mediante la generación de mallas y la aplicación de simulaciones térmicas que revelan patrones de transferencia de calor y fluidos.

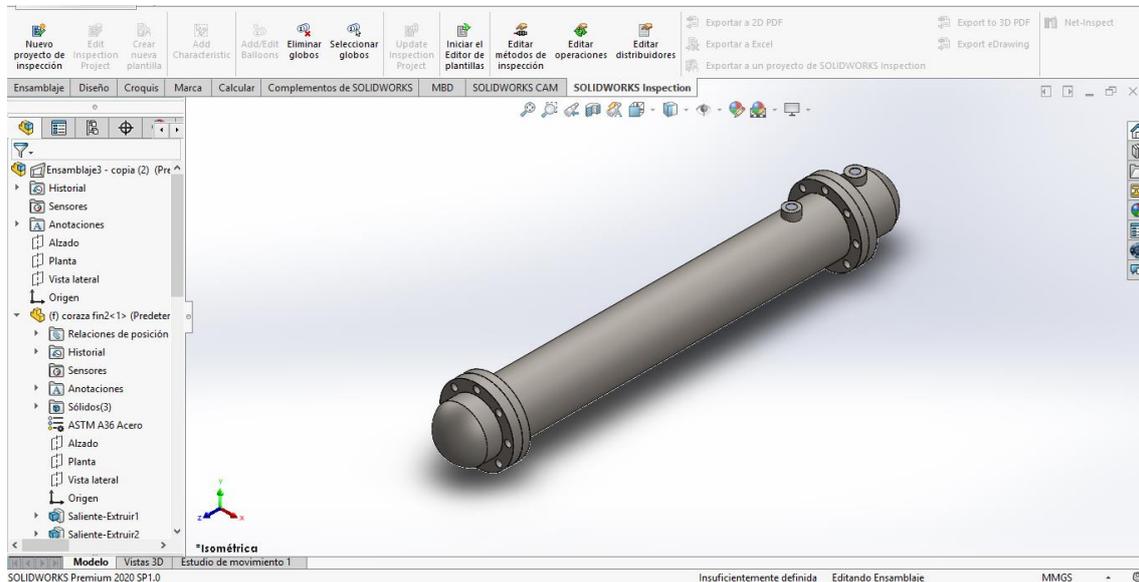
Gracias a este proceso de simulación nos ayudara a tomar decisiones informadas, mejorar la eficiencia energética y reducir costos de desarrollo al anticipar y corregir posibles problemas de diseño. En este contexto, explorar la simulación en SolidWorks se convierte en un componente clave para la ingeniería moderna y la innovación en el diseño de sistemas térmicos avanzados.

Modelado del intercambiador de calor diseñado

En esta sección se empezó con el dibujado y generado de los sólidos (modelo CAD) de cada una de las partes del intercambiador de calor, para después realizar el ensamblaje del mismo con todos sus elementos como se observa en la figura 21.

Figura 21

Modelado del intercambiador de calor



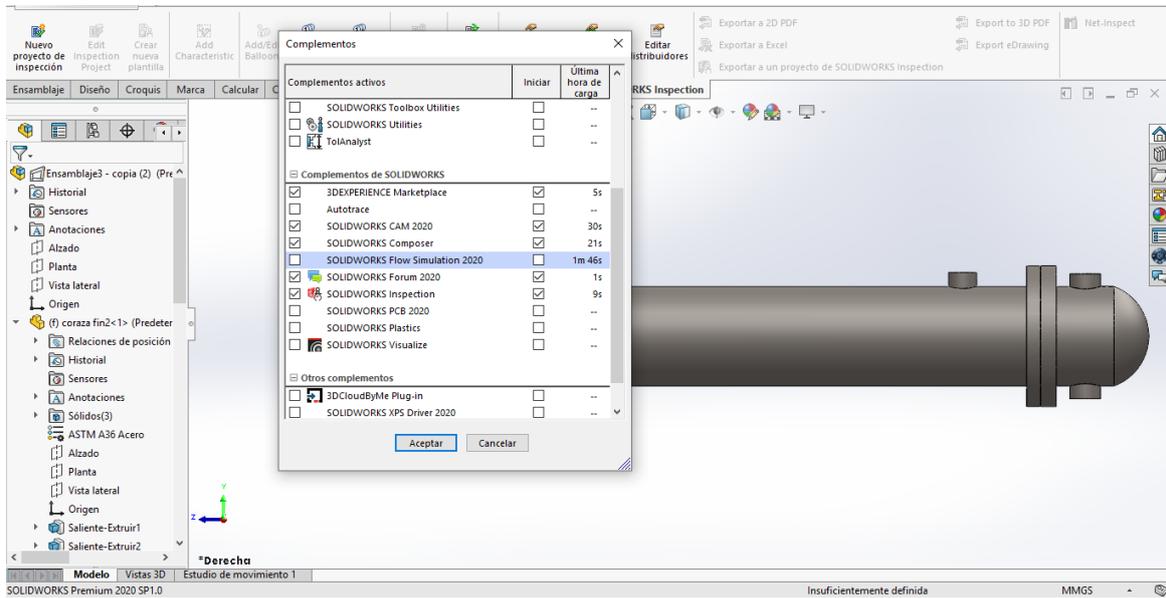
Nota. En el anexo A encontramos los planos a detalle de cada elemento que forma parte del intercambiador de calor.

Definición de condiciones de contorno

Se definió las condiciones de contorno para la simulación, esto incluye la temperatura inicial de los fluidos, las condiciones de flujo (velocidad, caudal másico, presión), las propiedades térmicas de los fluidos, etc. Lo primordial es crear un complemento para la simulación como se indica en la figura 22.

Figura 22

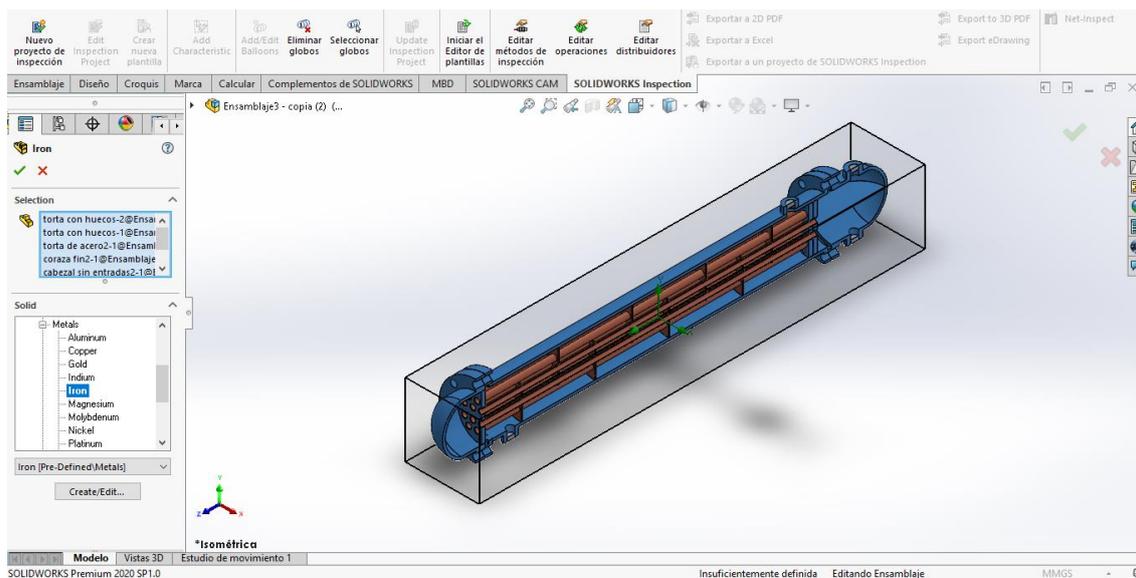
Creación del complemento de simulación para los fluidos de trabajo



A continuación, se seleccionó los materiales de cada una de las partes del intercambiador de calor como se observa en la figura 23.

Figura 23

Selección de materiales de la coraza y la tubería interna

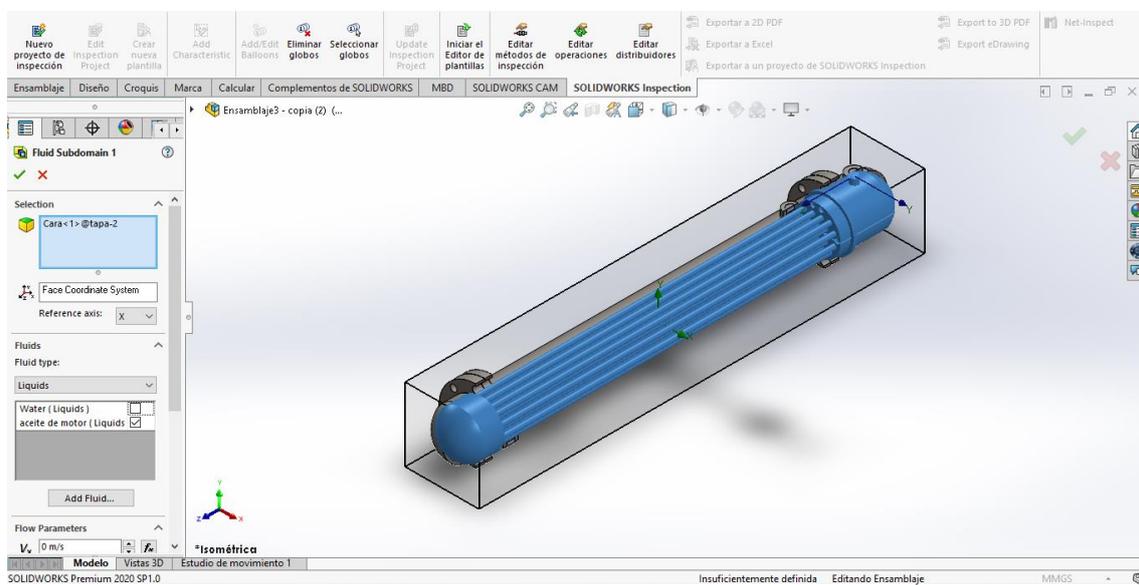


Nota. Como materiales del intercambiador se seleccionó acero inoxidable para la carcasa y cobre para los tubos interiores.

Después se especificó las condiciones de contorno en las interfaces de contacto entre los fluidos y las superficies sólidas del intercambiador de calor como se observa en la figura 24.

Figura 24

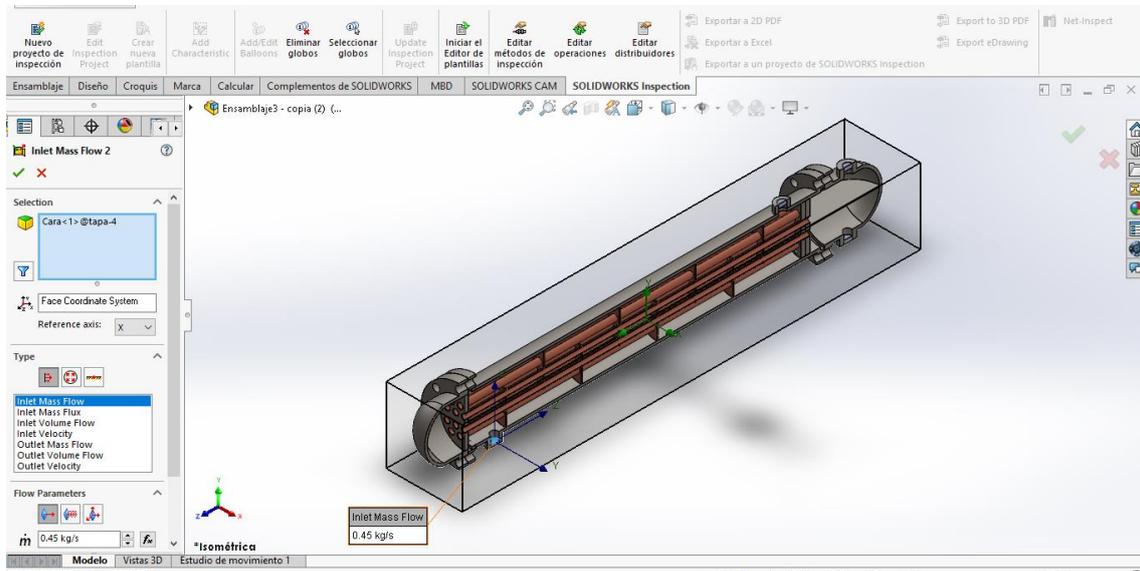
Selección del flujo másico que pasa a través los tubos de cobre y la coraza



Como siguiente paso se seleccionó las trayectorias por donde circularan los fluidos de trabajo como se observa en la figura 25, el agua circulará por el interior de la tubería de cobre y el aceite por el exterior de la tubería de cobre.

Figura 25

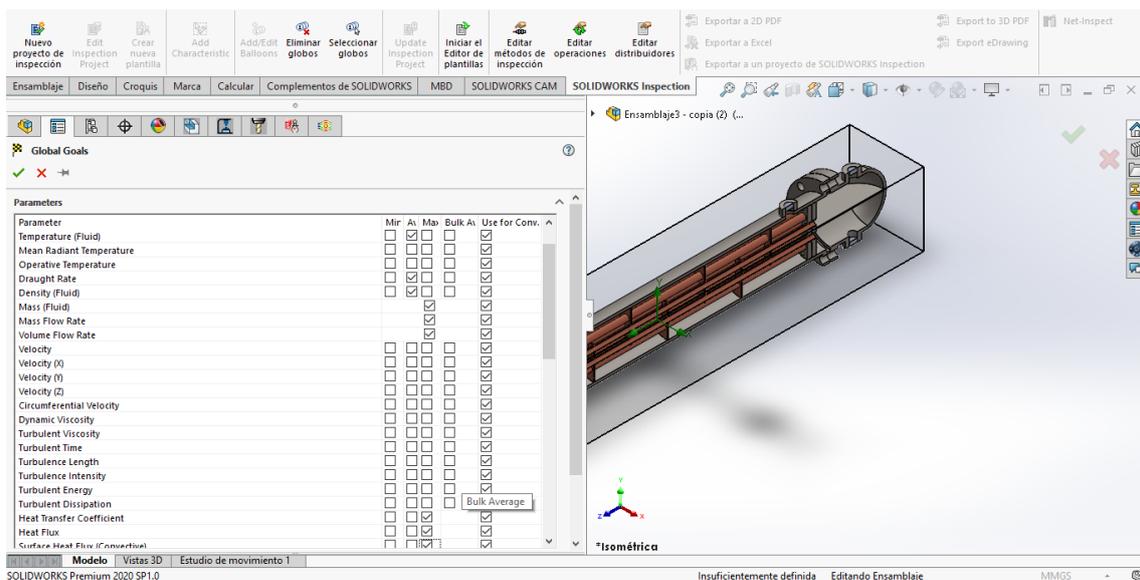
Selección del flujo másico que atravesara la coraza y la tubería interna



Establecemos los parámetros de los cuales queremos obtener información al finalizar la simulación como se observa en la figura 26, esto nos servirá para realizar el respectivo análisis del intercambiador de calor diseñado.

Figura 26

Selección de los parámetros a calcular del intercambiador de calor diseñado

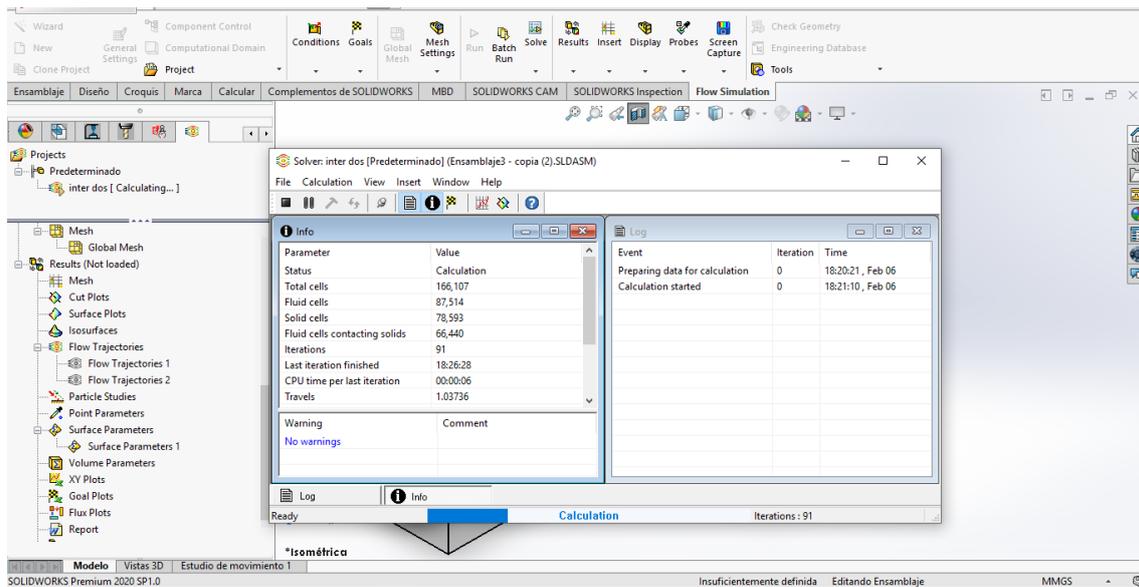


Creación del mallado (Mesh)

Se generó un mallado por elementos finitos en el modelo CAD de la figura 27 del intercambiador de calor diseñado, ya que SolidWorks proporciona herramientas para crear y ajustar la malla de manera automática o manual.

Figura 27

Generación del mallado en el modelo CAD del intercambiador de calor diseñado



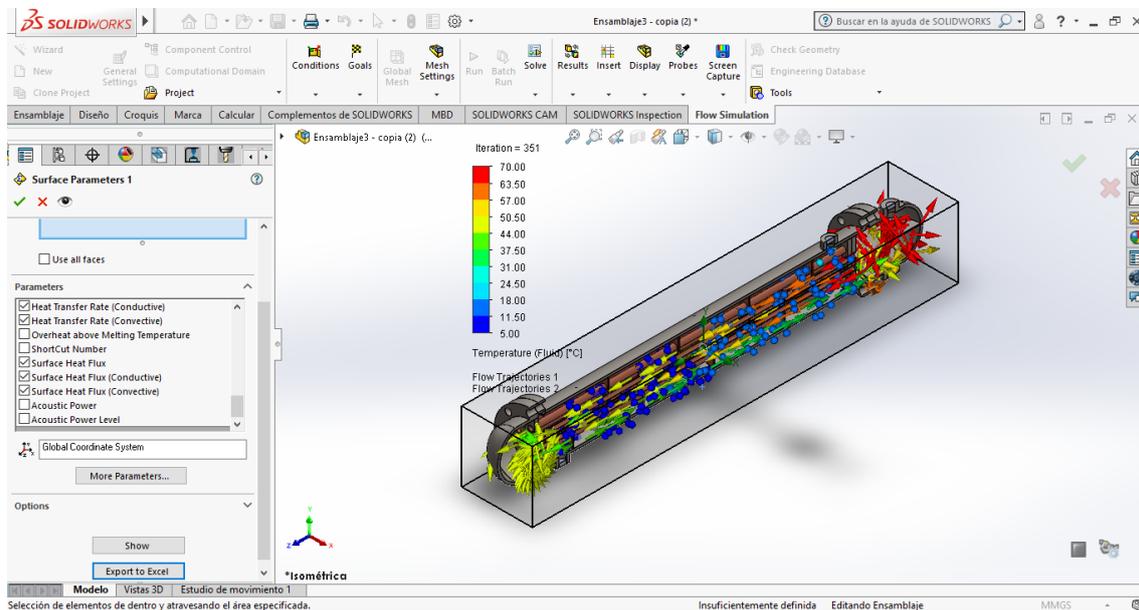
Se debe asegurar de que la malla sea lo suficientemente fina para capturar los detalles geométricos y los gradientes de temperatura con precisión, pero no tan densa ya que puede consumir demasiados recursos computacionales.

Ejecución del análisis y revisión de resultados

Una vez completada la simulación, se revisó los resultados obtenidos, como la distribución de temperatura en el intercambiador de calor, los flujos de calor a través de las superficies y cualquier otro parámetro relevante, los cuales se observan en la figura 28.

Figura 28

Resultado de la simulación del intercambiador de calor diseñado



Además, se analizó los resultados para evaluar el rendimiento térmico del intercambiador de calor diseñado y para identificar posibles áreas de mejora o problemas de diseño.

Interpretación de los resultados

Una vez realizada la simulación se determinó que el diseño del intercambiador de calor es viable ya que cumple con las especificaciones establecidas en los cálculos de diseño, y por ende su construcción será posible realizarla.

Simulación del intercambiador de calor del laboratorio por método computacional usando SolidWorks

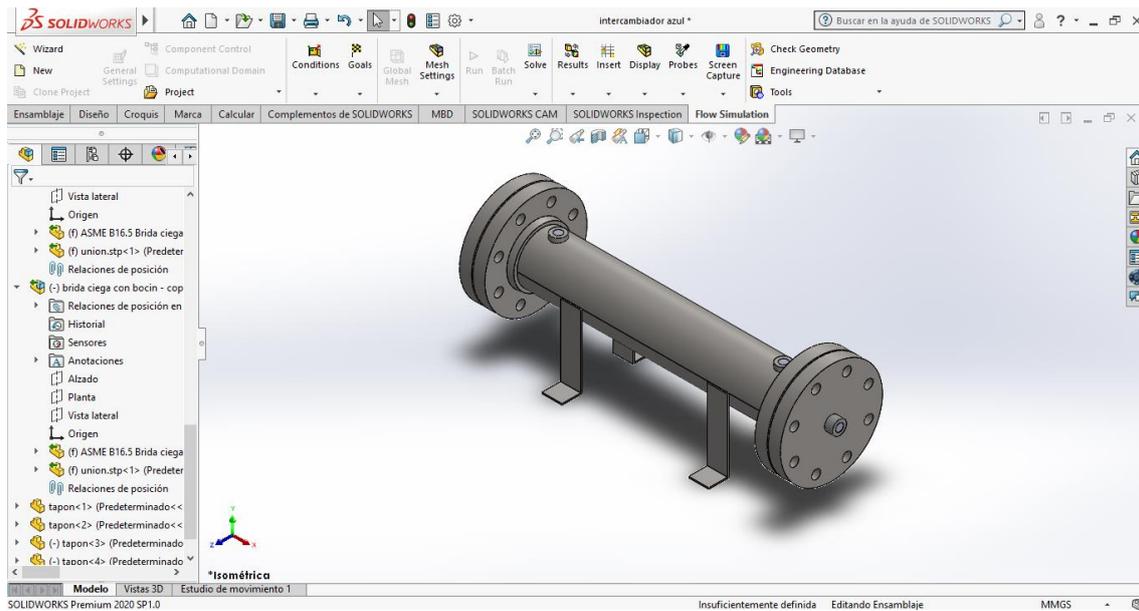
Como dato adicional se realizó la simulación del intercambiador de calor del laboratorio situado en el laboratorio con el propósito para después realizar la respectiva comparación con el intercambiador de calor diseñado y construido.

Modelado del intercambiador de calor del laboratorio

Se tomaron las medidas y especificaciones del intercambiador de calor del laboratorio y se realizó un modelo CAD el cual se observa en la figura 29.

Figura 29

Modelado del intercambiador de calor, original, del laboratorio



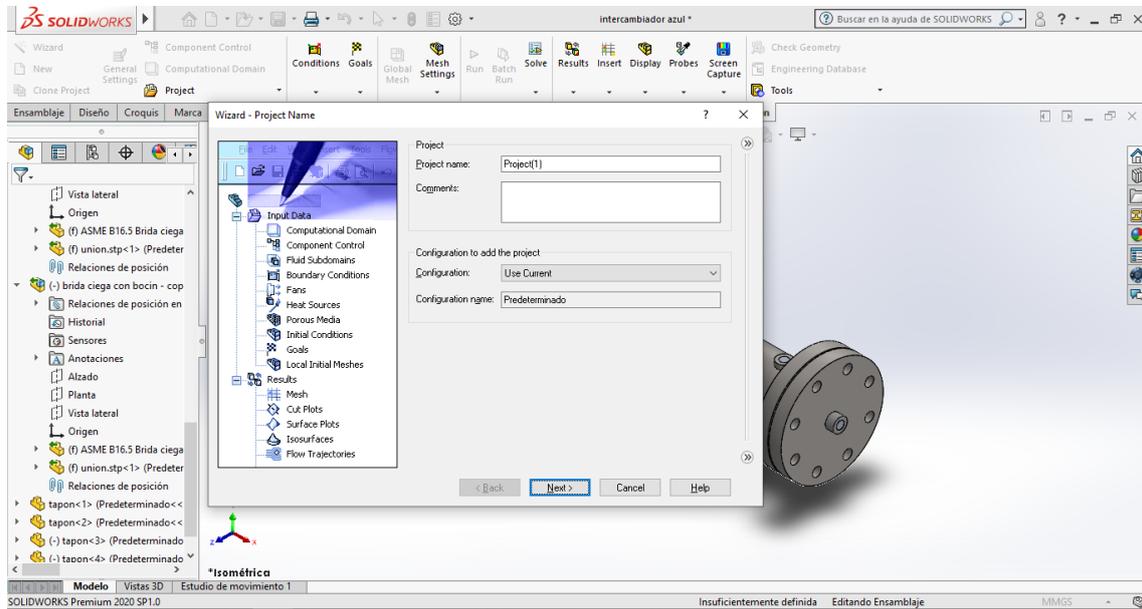
Nota. El modelado fue realizado idéntico al intercambiador de calor del laboratorio.

Definición de condiciones de contorno

El procedimiento es el mismo del intercambiador de calor anterior, por ende, se establecen las mismas condiciones de contorno, en esta parte se realizó la creación del complemento como se observa en la figura 30.

Figura 30

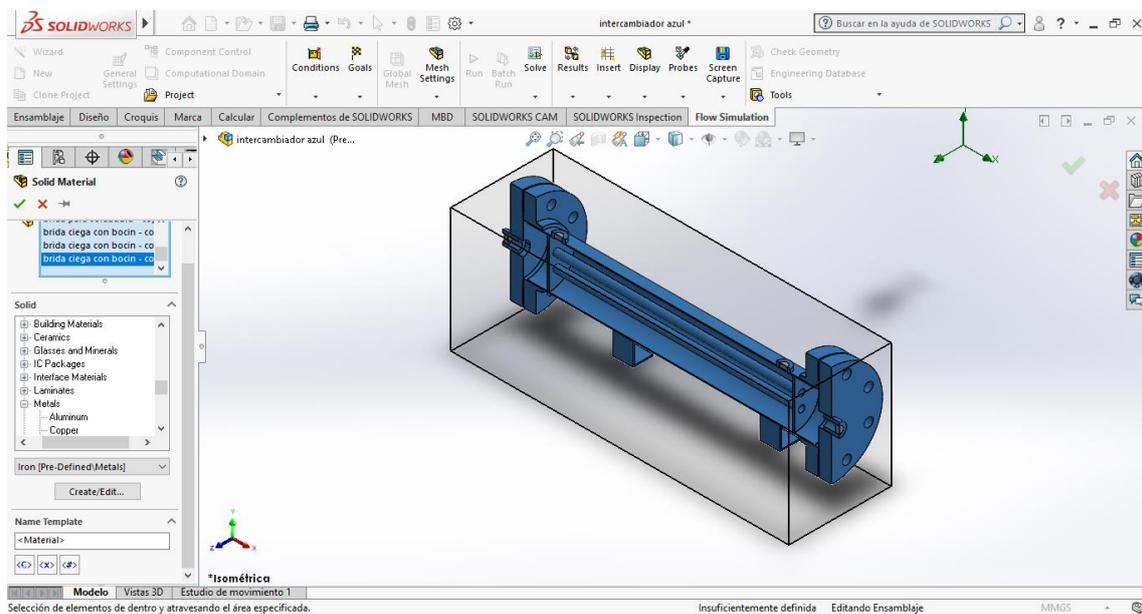
Creación del complemento de simulación para los fluidos en el intercambiador de calor, original, del laboratorio



A continuación, se seleccionaron los materiales del cual están fabricadas las partes del intercambiador de calor del laboratorio como se observa en la figura 31.

Figura 31

Selección de materiales de la coraza y la tubería interna



Nota. El intercambiador de calor del laboratorio fue realizado de acero ASTM A36.

Después se seleccionaron las trayectorias por donde circularán los fluidos de trabajo, en este caso el agua circulara por el interior de los tubos de cobre y el aceite por el exterior de los mismos como se observa en la figura 32 y figura 33.

Figura 32

Selección de las trayectorias por donde circularán los fluidos de trabajo

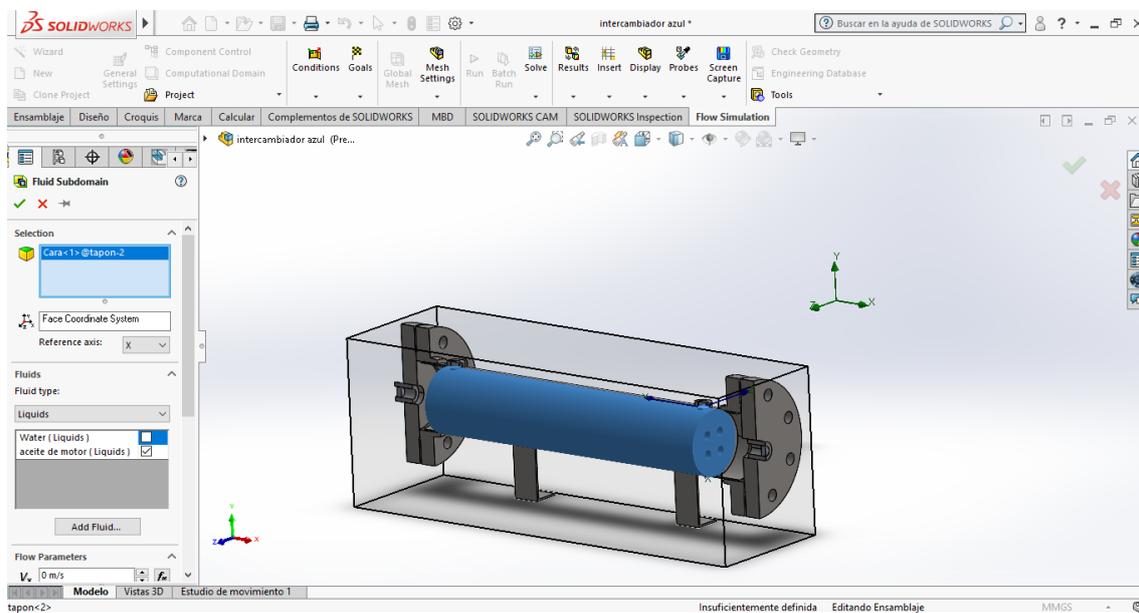
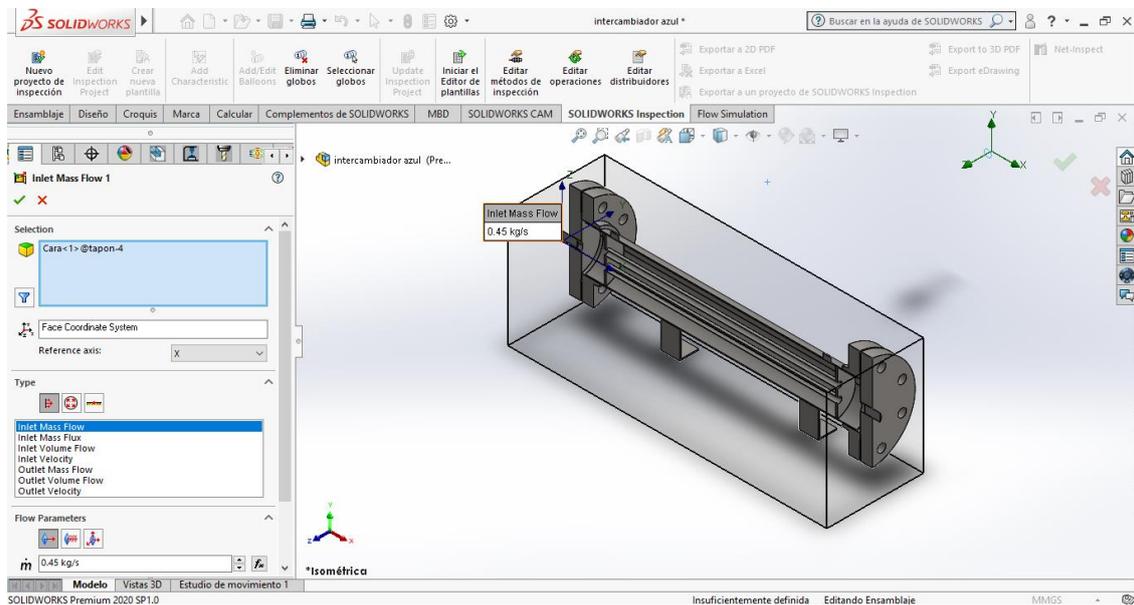


Figura 33

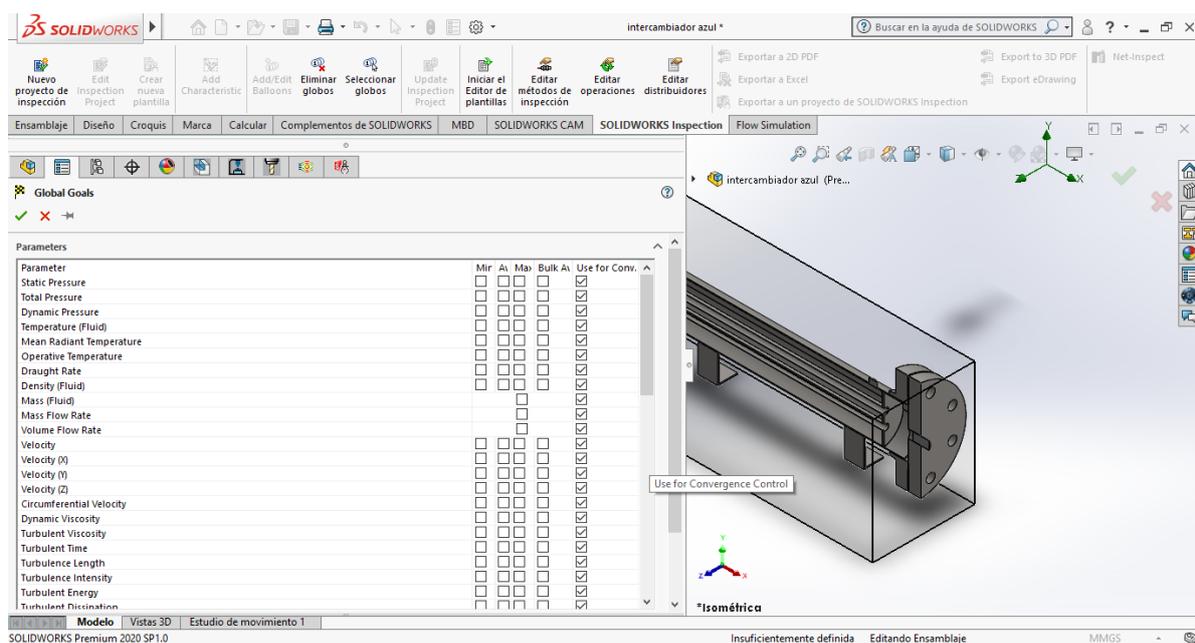
Selección del flujo másico que atravesará la coraza y tubería interna.



Establecemos los parámetros de los cuales queremos obtener información al finalizar la simulación como se observa en la figura 34, esto nos servirá para realizar el respectivo análisis del intercambiador de calor situado en el laboratorio.

Figura 34

Selección de los parámetros a calcular en el intercambiador de calor, original, del laboratorio

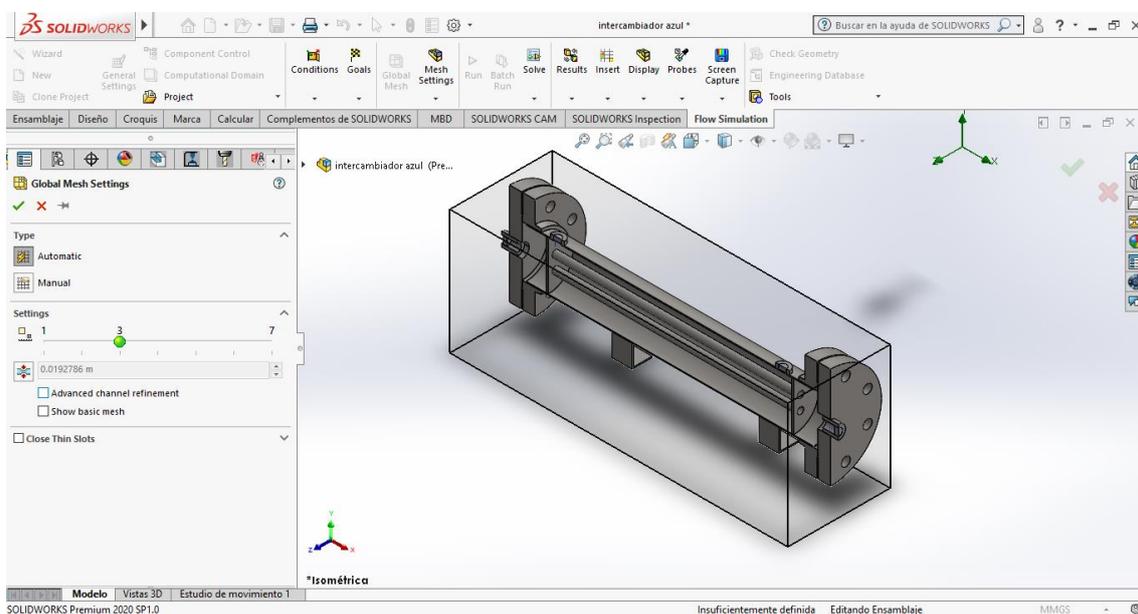


Creación del mallado (Mesh)

Se generó un mallado por elementos finitos en el modelo CAD de la figura 35 del intercambiador de calor del laboratorio, ya que SolidWorks proporciona herramientas para crear y ajustar la malla de manera automática o manual.

Figura 35

Generación del mallado en el modelo CAD del intercambiador de calor, original, del laboratorio

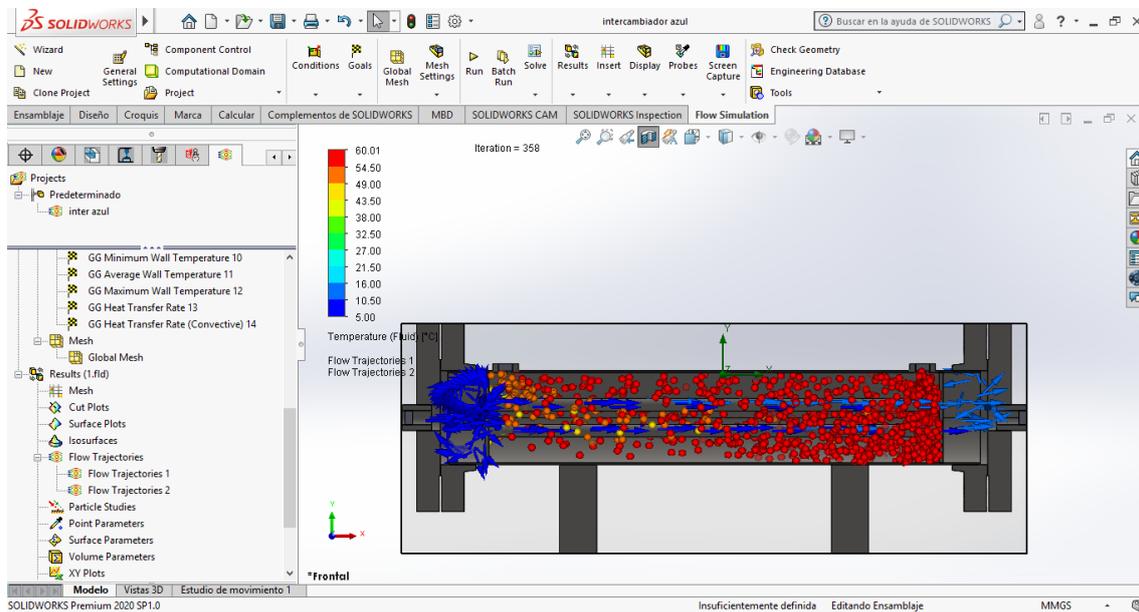


Ejecución del análisis y revisión de resultados

Una vez completada la simulación, se revisó los resultados obtenidos, como la distribución de temperatura en el intercambiador de calor, los flujos de calor a través de las superficies, los cuales se observan en la [figura 36](#).

Figura 36

Resultado de la simulación del intercambiador de calor, original, del laboratorio



Además, se analizó los resultados para evaluar el rendimiento térmico del intercambiador de calor del laboratorio y para identificar posibles áreas de mejora o problemas de diseño.

Interpretación de los resultados

En esta simulación se determinó que el intercambiador de calor del laboratorio antiguo no es tan eficiente en comparación del nuevo intercambiador diseñado debido a que contiene fallas en su diseño, por ende, se concluye el intercambiador de calor diseñado es más eficiente que el del laboratorio mediante la simulación en el software SolidWorks.

Construcción del Intercambiador de calor

Generalidades

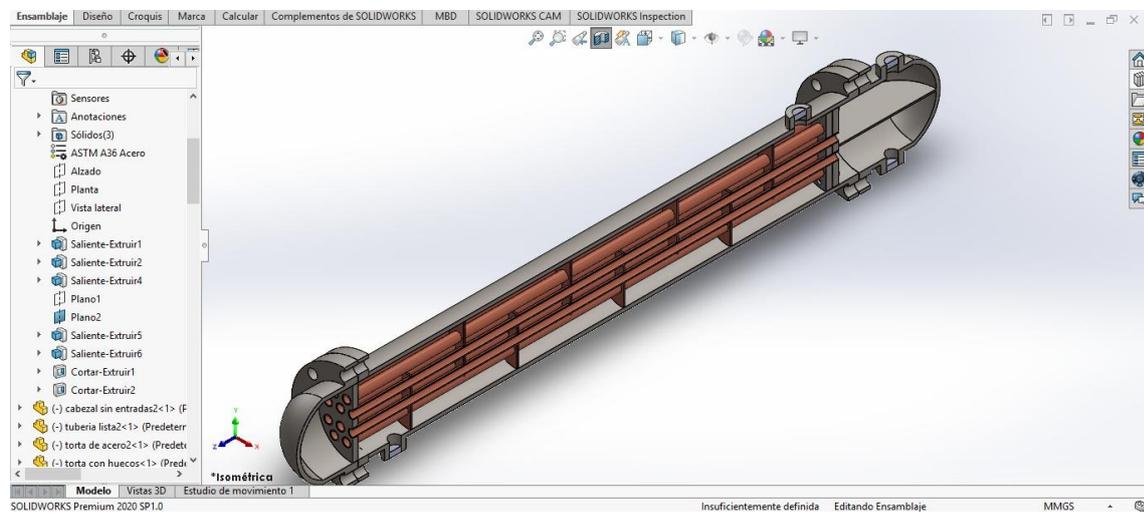
Una vez realizados los respectivos cálculos y simulaciones para el funcionamiento del diseño del intercambiador de calor agua – aceite y según las especificaciones establecidas (condiciones de trabajo), se propuso seguir con el siguiente proceso para su construcción.

Diseño del Intercambiador de Calor

Mediante el uso del software SolidWorks se realizó el diseño de un modelo de intercambiador de calor agua - aceite, el cual se basó en el diseño de la figura 37, su diseño detallado es basado en los requisitos establecidos, incluyendo en la selección de materiales, el diseño de los tubos, aletas o placas, y la configuración de los cabezales. En la sección anexos se pueden visualizar los componentes a detalle.

Figura 37

Diseño computacional del intercambiador de calor agua - aceite



El IC diseñado tiene los componentes que se detallan en la [tabla 9](#).

Tabla 12

Elementos para la construcción del intercambiador de calor

| Nro. | Descripción | Cantidad |
|------|----------------------------------|----------|
| 1 | Tubería de cobre tipo K 1/2" | 18 [m] |
| 2 | Brida ANSI B 16.36 RF 150 SCH 40 | 4 |
| 3 | Empaque bimetálico para brida 5" | 2 |
| 4 | Unión hembra Acero 3/4" | 4 |
| 5 | Tubo ASTM 53 GR B, 5" | 1 [m] |

| Nro. | Descripción | Cantidad |
|-------------|--|-----------------|
| 6 | Placa A36, 5" | 2 |
| 7 | Baffles de cobre 5" | 6 |
| 8 | Cabezal semi elíptico ASTM 53 GR B, 5" | 2 |
| 9 | Pintura anticorrosiva gris [lt] | 1 |
| 10 | Pernos M18 con tuerca Acero | 32 |
| 11 | Arandelas de presión M18 | 32 |

Preparación de los componentes

Una vez establecido que componentes formaran parte del intercambiador de calor, se prosigue con la adquisición de los mismos mediante la búsqueda y disponibilidad en el mercado.

Antes de empezar con la fabricación del intercambiador de calor, se debe verificar que los componentes se encuentren en óptimas condiciones para los respectivos mecanizados y procesos de ensamblaje, para eso se realizó una inspección visual y verificación de medidas de cada componente. Se realizó una limpieza exhaustiva de los componentes que se encontraban sucios o con rastros de partículas en su superficie.

Mecanizado de los componentes

Corte y trazado de la tubería de cobre

De acuerdo al diseño se necesitan 18 tubos de cobre de 940 [mm], por lo que se procedió a cortar los tubos de 6 [m] de longitud en seis partes, como se aprecia en la figura 38, para conformar el haz de tubos, (18), que formaran parte del intercambiador de calor.

Figura 38

Corte de la tubería de cobre



Nota. En el anexo A se puede visualizar a detalle las dimensiones del haz de tubería de cobre.

Corte y trazado del tubo de acero ASTM A106

El tubo de acero ASTM A106, de dos metros de longitud, será la carcasa del intercambiador, de acuerdo al diseño se necesita 1[m], por lo tanto, se realizó el corte de 1[m] en la cortadora de cinta como se puede apreciar en la figura 39.

Figura 39

Corte del tubo de acero ASTM A106



Nota. En el anexo A se detalla a detalle las dimensiones de tubo de acero ASTM A106 (carcasa del intercambiador de calor).

Refrentado del tubo de acero ASTM A106

Para el refrentado se usó el torno con sus respectivos accesorios para el mecanizado, como se puede apreciar en la figura 40, con ayuda del inserto se recorrió de extremo a extremo eliminando material, este proceso consiste en desbaste y acabado del tubo.

Figura 40

Refrentado del tubo de acero ASTM A106



Nota. El proceso de refrentado se lo realiza con el propósito de dejar la superficie de la carcasa en condiciones adecuadas para soldadura de los otros componentes.

Corte y preparación de la unión hembra

A las uniones hembra se les realizó un corte por hilo como se observa en la figura 41, para disminuir su longitud y permitir que las tapas y carcasa del intercambiador de calor encajen.

Figura 41

Corte de las uniones hembra

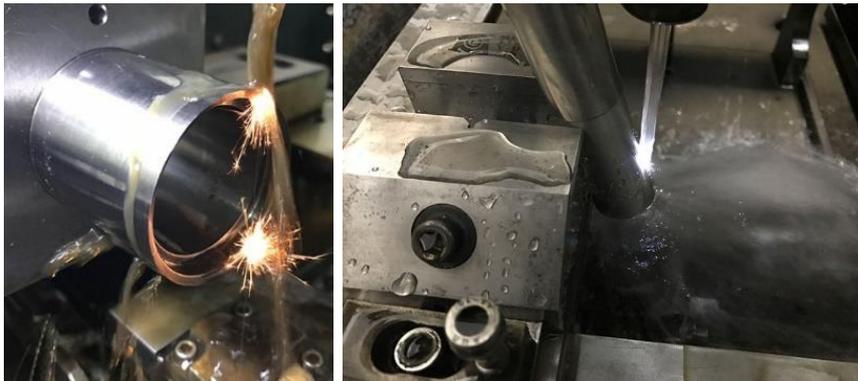


Perforaciones del tubo de acero ASTM A106 y cabezales

Para la soldadura de las uniones hembra, a la carcasa y cabezales de acero ASTM A106, se realizaron perforaciones, utilizando el corte por hilo como se observa en la figura 42, obteniendo cuatro perforaciones.

Figura 42

Perforaciones a la coraza y cabezales



Perforaciones de las placas tubulares

Para la perforación de las placas tubulares se empleó un taladro de banco con una broca de carburo de tungsteno de 1/2" y taladrina como se observa en la figura 43, el proceso consiste en perforar dieciocho agujeros en la placa e inmediatamente lubricar la zona por medio de la taladrina.

Figura 43*Perforaciones en las placas tubulares***Corte y perforación de los baffles de cobre**

Para la realización del corte y perforación de los baffles de cobre, se utilizó una cortadora laser para la plancha de cobre de 3 [mm] de espesor como se observa en la figura 44.

Figura 44*Perforaciones de los baffles***Ensamblaje de los componentes****Soldadura del cabezal semielíptico**

Los cabezales semielípticos están constituidos por dos partes las cuales fueron unidos mediante soldadura como se observa en la figura 45, estos cabezales distribuyen, apropiadamente, la presión interna, lo que es crucial en los intercambiadores de calor, ya que estos dispositivos a menudo operan a altas presiones y temperaturas.

Figura 45*Soldadura del cabezal semielíptico*

Nota. El proceso empleado para la soldadura fue el SMAW.

Soldadura de los cabezales semielípticos a las bridas deslizantes

Las bridas son empleadas como forma de sujeción entre los cabezales y la carcasa del intercambiador de calor, esta sujeción permite trabajar a altas presiones en el intercambiador de calor, para la soldadura se emplea el proceso SMAW como se observa en la figura 46.

Figura 46*Soldadura de los cabezales semielípticos a las bridas*

a)

b)

Nota. Cabezal a) se da el proceso de entrada y salida del fluido.

Cabezal b) se da el choque del fluido desde los tubos superiores y lo redirige a los tubos inferiores.

Soldadura de las uniones hembras a los cabezales y carcasa

Las uniones hembras brindan paso de entrada y salida del intercambiador de calor.

Para la soldadura se empleó el proceso SMAW como se observa en la figura 47.

Figura 47

Soldadura de las uniones hembras a los cabezales y carcasa del IC



Soldadura de las bridas deslizantes a la carcasa

Se soldaron bridas a la carcasa del intercambiador de calor, de tal forma de generar sujeción con las bridas de los cabezales.

Para la soldadura se aplicó el proceso SMAW como se observa en la figura 48.

Figura 48

Soldadura de las bridas deslizantes a la carcasa



Nota. Para el proceso de soldadura, la brida debe recorrer una distancia de 2 [cm] como mínimo en la carcasa, para generar mayor sujeción en la soldadura, la misma que se realiza en ambos lados de la brida.

Soldadura del haz de tubería de cobre a la placa tubular

Como primer paso se colocó la tubería de cobre al ras de los orificios de la placa tubular como se observa en la figura 49, para ello los tubos se insertaron a presión, para evitar que exista fugas entre la tubería y la placa tubular.

Figura 49

Colocación de los tubos de cobre en la placa tubular



Como segundo paso se empleó el proceso de soldadura oxiacetilénica con varilla de plata al 15% como se observa en la figura 50, se soldaron cada uno de los tubos de cobre a la placa tubular por ambos lados para mayor seguridad y evitar fuga o mezcla de los fluidos de trabajo como se observa en la figura 51.

Figura 50

Soldadura oxiacetilénica entre los tubos de cobre y la placa tubular



Figura 51

Soldadura por ambos lados de la placa tubular



Nota. Al final se realizó una inspección visual para verificar imperfecciones, y adicionalmente se le aplicó una prueba hidrostática para determinar si era necesario corregir la soldadura.

Soldadura de los baffles al haz de tuberías

Como primer paso para este proceso se debe ingresar los baffles dentro del haz de tubería de cobre, esto se realizó cuidadosamente evitando deformar la tubería ya que ingresaron a presión con la ayuda del martillo de goma como se observa en la figura 52.

Figura 52

Ingreso de los baffles al haz de tubería de cobre



Nota. Se colocaron los baffles de forma intercalada con la finalidad de generar un flujo turbulento y mejorar la transferencia de calor.

Como segundo paso se colocó pequeños puntos de soldadura entre los tubos y los baffles, como se observa en la figura 52 de tal manera de generar mayor sujeción y perpendicularidad como se observa en la figura 54.

Figura 53

Soldadura entre los baffles y la tubería de cobre



Figura 54

Inspección y verificación de la posición de los baffles



Soldadura del haz de tubos y placa tubular dentro de la carcasa

El conjunto placa tubular, baffles y tubería, (figura 54), se suelda a una brida como se observa en la figura 55, (los planos del ensamblaje se encuentran en el anexo A).

Figura 55

Soldadura SMAW entre la placa tubular y la brida



Figura 56

Inspección y verificación de la soldadura entre la placa tubular y la carcasa del intercambiador de calor



Nota. Se realizó una prueba hidrostática para determinar fugas.

Acabados

Pintado del Intercambiador de calor

El pintado del intercambiador de calor no solo tiene fines estéticos, sino que también desempeña un papel importante en la protección del equipo contra la corrosión y otros daños ambientales, para ello primero se aplicó una capa de pintura, fondo al aceite, como se observa en la figura 57 para la protección contra la corrosión y en segundo lugar se aplica una capa de pintura gris como se observa en la figura 58.

Figura 57

Aplicación de la primera capa de pintura fondo al aceite para la corrosión



Figura 58

Aplicación de la segunda capa de pintura color gris para la estética



Colocación del empaque bimetálico

Para el proceso de unión de las respectivas bridas se emplean empaques bimetálicos para mayor seguridad entre ellas y evitar fugas del fluido de trabajo, el empaque debe ser colocado adecuadamente como se indica en la figura 59.

Figura 59

Colocación de los empaques bimetálicos a las bridas



Unión de los cabezales al cuerpo del intercambiador

Para la unión de los cabezales al cuerpo del intercambiador empleamos pernos M18 con su respectiva tuerca y arandela de presión como se indica en la figura 60, de esta forma el intercambiador queda ensamblado completamente

Figura 60

Unión de los cabezales al cuerpo del intercambiador



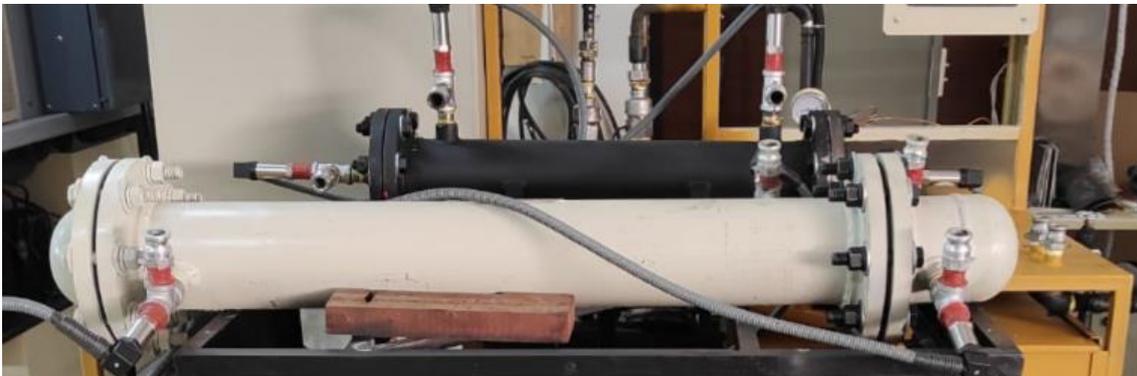
Prueba de fugas

El intercambiador de calor tiene la función de transferir calor de un fluido a otro sin mezclarse. La mezcla puede llevar a una pérdida de eficiencia en el intercambio térmico.

Se procedió a realizar una prueba, (solo con aceite), con el intercambiador conectado al banco de pruebas para intercambiadores de calor agua-aceite, con la finalidad de verificar fugas como se observa en la figura 61.

Figura 61

Prueba de fugas



Una vez que se verificó que no existen fugas en el intercambiador de calor diseñado y construido, quedó listo para realizar las pruebas de funcionamiento.

Capítulo IV Mantenimiento

Levantamiento técnico del estado actual del equipo

El banco de pruebas para intercambiadores de calor CE-20-E, localizado en el laboratorio de conversión de la energía es un equipo que lleva alrededor de 12 años en funcionamiento, en los cuales el manteniendo no ha sido continuo, lo que afectaba las mediciones y toma de datos, por tal motivo en las practicas no se verificaba la teoría.

Como primer paso se realizó el levantamiento técnico del estado de cada componente del equipo y determinar que acciones se puede aplicar para darle el respectivo

mantenimiento, a continuación, se procedió a desmontar cada componente de manera segura siguiendo las normas de seguridad y protección.

Levantamiento técnico del reservorio de agua

El reservorio puede proporcionar un suministro constante de agua para simular condiciones reales, en este caso el agua es enfriada por medio del sistema de refrigeración y se lo utiliza como fluido de trabajo en el intercambiador de calor, cuya función es enfriar al otro fluido (aceite) que se encuentra a mayor temperatura.

Tabla 13

Levantamiento técnico del reservorio de agua y sus componentes.

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|-------------------------|--|--|
| Tanque |  | Presenta rayones y deterioro de la pintura en la superficie. |
| Aislante térmico |   | Aislante deteriorado debido al tiempo de uso. |

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|--|---|---|
| <p>Serpentines del sistema de refrigeración</p> |  | <p>El serpentín presenta torceduras y suciedad debido a que el agua no se ha cambiado por mucho tiempo.</p> |
| <p>Termocupla</p> |  | <p>La termocupla sin sujeción.</p> |
| <p>Entrada y salida del agua</p> |  | <p>Los orificios de entrada y salida del agua con oxido.</p> |

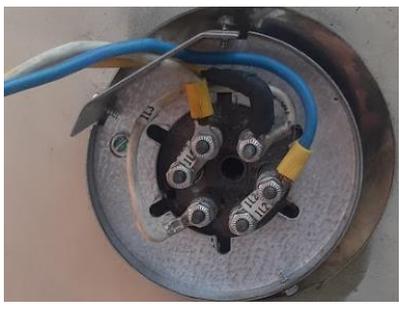
Levantamiento técnico del reservorio de aceite

El reservorio permite almacenar el aceite y brindar suministro constante para la simulación en condiciones reales, en este caso por medio del uso de una resistencia se la calienta a una determinada temperatura y se lo utiliza como fluido de trabajo en el intercambiador de calor, cuya función es transferir calor al otro fluido (agua) que se encuentra a menor temperatura.

Tabla 14

Levantamiento técnico del reservorio de aceite y sus componentes.

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|--|---|--|
| <p data-bbox="316 846 422 880">Tanque</p> |   | <p data-bbox="991 779 1318 947">Presenta rayones y deterioro de la pintura en la superficie.</p> |
| <p data-bbox="204 1547 437 1581">Aislante térmico</p> |  | <p data-bbox="991 1514 1318 1615">Aislante térmico deteriorado e inservible.</p> |

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|------------------------------------|--|---|
| Resistencia |  | Deterioro en el cableado y empaques. |
| Termocupla |  | Termocupla inservible. |
| Entrada y salida del aceite |  | Los orificios de entrada y salida del aceite con oxido. |

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|--|--|--|
| <p data-bbox="323 898 416 931">Aceite</p> |  | <p data-bbox="991 869 1318 965">Aceite inservible debido al tiempo de uso.</p> |

Levantamiento técnico de la bomba de agua

La bomba permite controlar el flujo de agua a través del sistema, puede ajustarse para simular diferentes condiciones operativas y evaluar cómo responde el sistema a variaciones en el flujo en el intercambiador de calor.

Tabla 15

Levantamiento técnico de la bomba de agua y sus componentes.

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|--|---|--|
| <p data-bbox="244 1800 501 1901">Succión del fluido (Entrada)</p> |  | <p data-bbox="986 1800 1318 1901">Entrada de la bomba sucia.</p> |

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|--|---|---|
| Expulsión del fluido (Salida) |  | En la salida de la bomba se encontraron pequeñas partículas de suciedad. |
| Carcasa |  | La carcasa presentaba un ligero desgaste en la pintura y suciedad de sus distintas secciones. |
| Rodamiento axial |  | El rodamiento estaba operativo, sin embargo, presentaba una gran acumulación de suciedad debido al tiempo de uso. |
| Rotor |  | En el rotor se encontró un empaque que estaba totalmente desgastado, y además presentaba oxidación y suciedad. |

Levantamiento técnico de la bomba de aceite

La bomba permite controlar el flujo de aceite a través del sistema, puede ajustarse para simular diferentes condiciones operativas y evaluar cómo responde el sistema a variaciones en el flujo en el intercambiador de calor.

Tabla 16

Levantamiento técnico de la bomba de aceite y sus componentes.

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|---|---|--|
| <p>Succión del fluido (Entrada)</p> |  | <p>En la entrada de la bomba se encontraron pequeñas partículas de suciedad debido al deterioro del aceite.</p> |
| <p>Expulsión del fluido (Salida)</p> |  | <p>De igual manera en la salida se encontraron pequeñas partículas de suciedad debido al deterioro del aceite y del respectivo teflón.</p> |
| <p>Carcasa</p> |  | <p>La carcasa presentaba gran cantidad de suciedad debido a la falta de limpieza.</p> |

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|-------------------------|--|--|
| Rodamiento axial |  | <p>El rodamiento presentaba una gran acumulación de suciedad debido al tiempo de uso y falta de mantenimiento.</p> |
| Rotor |  | <p>El rotor presenta pequeñas partículas debido al deterioro del aceite.</p> <p>Los empaques de sujeción presentan un alto desgaste.</p> |

Levantamiento técnico de la estructura

La estructura del banco de pruebas desempeña un papel crucial en la seguridad, estabilidad y funcionalidad del sistema de prueba, proporciona un soporte robusto para todos los componentes del banco de pruebas, incluyendo equipos, instrumentos, sistemas de medición y objetos bajo prueba.

Tabla 17

Levantamiento técnico de la estructura y todas sus partes

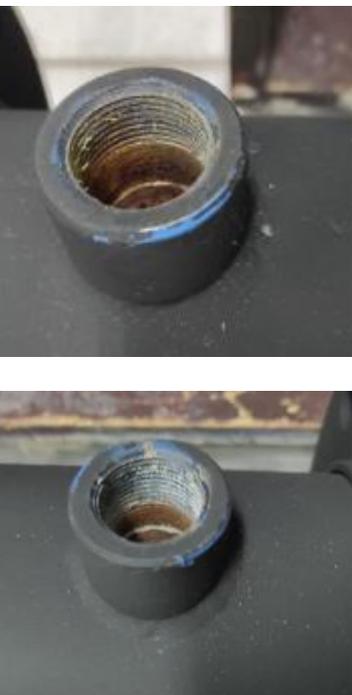
| Vista | Fotografía | Descripción |
|---------------------------------|---|---|
| <p>Frontal</p> |  | |
| <p>Lateral derecha</p> |  | <p>En varias partes de la estructura se encontró rayones, suciedad y deterioro de la pintura.</p> |
| <p>Lateral izquierda</p> |  | |

Levantamiento técnico del intercambiador de calor multitubo

Un intercambiador de calor en un banco de pruebas cumple una función crucial en la gestión térmica de los sistemas bajo prueba, cuya función principal es simular el comportamiento de dos fluidos a diferente temperatura y como se da el fenómeno de transferencia de calor.

Tabla 18

Levantamiento técnico del intercambiador de calor multitubo

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|---|---|---|
| <p>Boquillas de entrada y salida de agua</p> |  | <p>Entradas y salidas inservibles</p> |
| <p>Boquillas de entrada y salida de aceite</p> |  | <p>Boquillas desgastadas e inservibles.</p> |

| Elemento | Fotografía | Descripción |
|--------------------------------|--|--|
| <p>Tubos interiores</p> |  | <p>Cámaras de almacenamiento oxidadas.</p> |
| <p>Carcasa</p> |  | <p>Desgaste en la pintura</p> |

Mantenimiento modificativo

Al banco de pruebas se le realizaron ciertas modificaciones en la estructura para la instalación de nuevos componentes, tales como el tablero de control y bomba centrífuga.

Modificación en la estructura para la colocación del tablero de control

El tablero de control va a estar constituido por componentes eléctricos y electrónicos que se utilizan para monitorear y controlar el funcionamiento del banco de pruebas, este resultado ser de mayor media en comparación con el anterior (80x60x20 cm) y será colocado donde se pueda manipular fácilmente, como se puede apreciar en la figura 62.

Figura 62

Lugar adecuado en donde se colocará el tablero de control

**Figura 63**

Cortado y esmerilado de las secciones cortadas



Una vez cortados los tubos se realiza el respectivo esmerilado en las secciones cortadas para eliminar rebabas y dejar la superficie lisa para la colocación del tablero de control.

Figura 64

Colocación del tablero de control



Nota. El tablero se fijó a la estructura por medio del empinado para asegurarlo de manera segura.

Soporte para la colocación de la bomba centrífuga

Como se cambió la bomba centrífuga que impulsaba al fluido de aceite, debido a que ésta no proporcionaba el caudal necesario para la realización de las practicas, fue necesario modificar la base donde estaba colocada ya que la nueva bomba es más grande, como se puede apreciar en la figura 65.

Figura 65

Modificación de la base para la bomba centrífuga



La modificación consistió en cortar la base antigua como se indica en la figura 65 y colocar la nueva base, como se aprecia en la figura 66.

Figura 66

Fabricación de la nueva base para la bomba centrífuga



Figura 67

Soldadura de la nueva base a la estructura del banco de pruebas



Figura 68

Limpieza de escoria y suciedad generada en la soldadura



Estructura del banco de pruebas

La estructura del banco de pruebas presenta deterioro en la pintura como se observa en la figura 69, esto es debido a la corrosión que generan los fluidos de trabajo del equipo, para ello se realiza el respectivo desmontaje como se observa en la figura 70.

Figura 69

Estado de la pintura de la estructura



Figura 70

Desmontaje de los componentes que forman parte del banco de pruebas



Figura 71

Aplicación del recubrimiento fondo al aceite

**Figura 72**

Aplicación de capa de pintura



Nota. Es importante recalcar que se aplicó la segunda capa de pintura color amarillo Caterpillar mediante el uso del compresor a toda la estructura.

Figura 73

Resultado del pintado de la estructura



Empaques y accesorios de tuberías

Una vez realizado el levantamiento técnico del estado de los componentes del banco de pruebas, encontramos partes que necesariamente deben ser reemplazadas por nuevas, como se observa en las figuras 74 y 75. Podemos observar también en las figuras 76 y 77, los nuevos accesorios y empaques por los que fueron reemplazados.

Figura 74

Accesorios de las tuberías en mal estado



Figura 75

Empaques de las tuberías en mal estado

**Figura 76**

Empaques para las tuberías nuevos

**Figura 77**

Accesorios nuevos para las tuberías



Mantenimiento eléctrico

El banco de pruebas posee componentes que trabajan a diferentes voltajes como se indica en la tabla 19, además el cableado de los componentes estaba a la vista de forma desordenada como se observa en la figura 78.

Tabla 19

Voltaje de trabajo de los componentes del banco de pruebas

| Componente | Voltaje |
|--------------------------|----------------|
| Bomba de agua | 110 [V] |
| Bomba de aceite | 220 [V] |
| Sistema de refrigeración | 220 [V] |
| Resistencia | 220 [V] |
| Caudalímetros | 50 [V] |

Figura 78

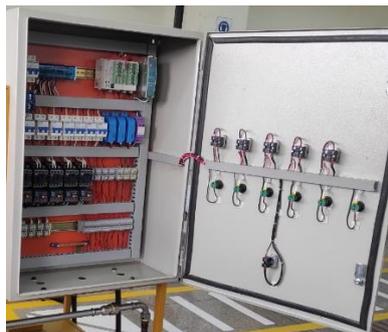
Conexiones y cableado de los componentes del banco de pruebas



Por esta razón se implementó el tablero de control, para ordenar adecuadamente los cables por medio de canaletas en el caso que se requiera realizar una modificación o cambio como se observa en la figura 79.

Figura 79

Tablero de control



Capítulo V Diseño e implementación del sistema de adquisición de datos

Identificación de las variables de medición

Para la realización de las prácticas en el equipo banco de pruebas es importante obtener datos como las temperaturas en varios puntos del intercambiador de calor y el flujo de los fluidos (caudales) en las tuberías.

Una vez determinada las variables a medir se procedió a realizar el diseño del sistema de adquisición de datos y la selección de los sensores para trabajar en las condiciones establecidas en las practicas. En la tabla 20 se presenta los rangos de funcionamiento).

Tabla 20

Rangos de funcionamiento de los sensores de temperatura y flujo másico

| Fluido | Variable | Simb | min | max | Unidad |
|--------|------------------------|----------|-----|-----|--------|
| | Caudal | Q_c | 0 | 50 | [GPM] |
| Aceite | Temperatura de entrada | T_{hi} | 0 | 75 | [°C] |
| | Temperatura de salida | T_{ho} | -10 | 50 | [°C] |
| | Caudal | Q_w | 0 | 50 | [GPM] |
| Agua | Temperatura de entrada | t_{hi} | -10 | 50 | [°C] |
| | Temperatura de salida | t_{ho} | 0 | 50 | [°C] |

Selección de la instrumentación

La instrumentación para el banco de pruebas debe ser cuidadosamente seleccionada para garantizar mediciones adecuadas (anexo) y la recopilación de datos relevantes para evaluar el rendimiento del intercambiador de calor.

Los sensores son los instrumentos elegidos para medir las variables ya que estos captan las señales o estímulos de magnitud física y las transforman en magnitud eléctrica (V,

A), las cuales deberán ser acondicionadas para poderla visualizar a través de una interfaz HMI.

La cantidad de sensores que necesitan para medir las variables identificadas se muestran en la tabla 21, las cuales van hacer visualizadas en la interfaz HMI.

Tabla 21

Cantidad de sensores necesarios para la medición de las variables identificadas

| Variables a medir | Cantidad |
|--------------------------|-----------------|
| Temperatura | 10 |
| Caudal | 2 |
| Total | 12 |

Analizando la tabla 21 se determinó que el controlador lógico debe disponer de al menos 12 entradas para conectar los sensores y recibir las señales de tipo analógicas.

Cálculos para dimensionamiento eléctrico

Los respectivos cálculos fueron realizados con el propósito de garantizar que el sistema eléctrico del banco de pruebas sea seguro para su operación, evitando sobrecargas que puedan causar cortocircuitos, sobrecalentamientos o incluso incendios, también se permitió optimizar el diseño del sistema antiguo, determinando el tamaño adecuado de los conductores, la capacidad de los transformadores, la protección contra sobretensiones, entre otros aspectos, para satisfacer las necesidades específicas del proyecto.

Identificación de Actuadores:

- Compresor Sist. De Refrigeración 1
 - Voltaje Nominal: 220 V
 - Frecuencia: 60 Hz
 - Amperaje de Carga Nominal (RLA): 7.5 A
- Compresor Sist. De Refrigeración 2

- Voltaje Nominal: 220 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Amperaje de Carga Nominal (RLA): 7.5 A
- Resistencia Eléctrica
 - Potencia: 660 W
 - Voltaje Nominal: 220 V
 - Corriente Nominal: 3.5 A
- Bomba de Agua
 - Potencia: 1.5 KW
 - Voltaje Nominal: 120 V
 - Corriente Nominal: 12 A
- Bomba de Aceite
 - Potencia: 1.8 KW
 - Voltaje Nominal: 220 V
 - Corriente Nominal: 8.1 A

Cálculo y determinación de los componentes eléctricos que se necesitaran para la conexión de los actuadores

Compresor Sistemas De Refrigeración

$$I_{carga} = 7.5 A$$

Al ser una carga continua (funciona por más de 3 horas) se considera:

$$I_{conductor} \geq 1.25 I_{carga}$$

$$I_{termomagnético} \geq 1.25 I_{carga}$$

Cálculo del conductor sin factores de corrección:

$$I_{conductor} = 1.25 I_{carga}$$

$$I_{conductor} = 1.25(7.5 A)$$

$$I_{conductor} = 9.375 A$$

Cálculo del conductor con factores de corrección:

Factor de Corrección de Temperatura

- Considerando una temperatura promedio en un rango de 26 – 30 °C y un ambiente seco y húmedo.

$$F_t = 1$$

Factor de Ajuste

- Al encontrarse 8 conductores en la misma tubería. Se encuentra en el rango de 7 – 9 conductores.

$$F_a = 70\%$$

$$I_{carga-f} = \frac{I_{carga}}{(F_t \times F_a)}$$

$$I_{carga-f} = \frac{7.5}{(1 \times 0.7)}$$

$$I_{carga-f} = 10.72 \text{ A}$$

Al obtenerse

$$I_{carga-f} > I_{carga}$$

Se considera la corriente de la carga de 10.72 A al ser iguales.

∴ El conductor seleccionado según la I_{carga} es un AWG 16 THHN

- Selección del Interruptor termomagnético:

Al tenerse el conductor seleccionado a un AWG 16 THHN que soporta 15 A

∴ El termomagnético seleccionado según la I_{carga} es de 16 A

- Selección del contactor:

- Al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 10.72 \text{ A}$.

- Se selecciona el contactor con un valor inmediato superior al valor de I_{carga} el cual es 12 A
- Selección del Relé térmico:
 - Al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 10.72 A$.
 - Se selecciona un relé térmico que posea el valor de la I_{carga} en su rango de trabajo, el cual es: 9 – 13 A.

Resistencia Eléctrica

$$I_{carga} = 3.5 A$$

Al ser una carga continua (funciona por más de 3 horas) se considera:

$$I_{conductor} \geq 1.25 I_{carga}$$

$$I_{termomagnético} \geq 1.25 I_{carga}$$

Cálculo del conductor sin factores de corrección:

$$I_{conductor} = 1.25 I_{carga}$$

$$I_{conductor} = 1.25(3.5 A)$$

$$I_{conductor} = 4.75 A$$

Cálculo del conductor con factores de corrección:

Factor de Corrección de Temperatura

- Considerando una temperatura promedio en un rango de 26 – 30 °C y un ambiente seco y húmedo.

$$F_t = 1$$

Factor de Ajuste

- Al encontrarse 8 conductores en la misma tubería. Se encuentra en el rango de 7 – 9 conductores.

$$F_a = 70\%$$

$$I_{carga-f} = \frac{I_{carga}}{(F_t \times F_a)}$$

$$I_{carga-f} = \frac{3.5 A}{(1 \times 0.7)}$$

$$I_{carga-f} = 5 A$$

Al obtenerse

$$I_{carga-f} > I_{carga}$$

Se considera la corriente de la carga de 5 A al ser la mayor.

∴ El conductor seleccionado según la I_{carga} es un AWG 18 THHN

- Selección del interruptor termomagnético:
 - Al tenerse el conductor seleccionado a un AWG 18 THHN que soporta 10 A

∴ El termomagnético seleccionado según la I_{carga} es de 10 A

- Selección del contactor:
 - Al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 5 A$.
 - Se selecciona el contactor con un valor inmediato superior al valor de I_{carga} el cual es 9 A
- Selección del Relé térmico:
 - Al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 5 A$.
 - Se selecciona un relé térmico que posea el valor de la I_{carga} en su rango de trabajo, el cual es: 4 - 6 A.

Bomba de Aceite

$$I_{carga} = 8.1 A$$

Al ser una carga continua (funciona por más de 3 horas) se considera:

$$I_{conductor} \geq 1.25 I_{carga}$$

$$I_{termomagnético} \geq 1.25 I_{carga}$$

Cálculo del conductor sin factores de corrección:

$$I_{conductor} = 1.25 I_{carga}$$

$$I_{conductor} = 1.25(8.1 A)$$

$$I_{conductor} = 10.13 A$$

Cálculo del conductor con factores de corrección:

Factor de Corrección de Temperatura

- Considerando una temperatura promedio en un rango de 26 – 30 °C y un ambiente seco y húmedo.

$$F_t = 1$$

Factor de Ajuste

- Al encontrarse 8 conductores en la misma tubería. Se encuentra en el rango de 7 – 9 conductores.

$$F_a = 70\%$$

$$I_{carga-f} = \frac{I_{carga}}{(F_t \times F_a)}$$

$$I_{carga-f} = \frac{8.1}{(1 \times 0.7)}$$

$$I_{carga-f} = 11.57 A$$

Al obtenerse

$$I_{carga-f} > I_{carga}$$

Se considera la corriente de la carga de 11.57 A al ser la mayor.

∴ El conductor seleccionado según la I_{carga} es un AWG 16 SPT

- Selección del interruptor termomagnético:
 - Al tenerse el conductor seleccionado a un AWG 16 THHN que soporta 15 A

∴ El termomagnético seleccionado según la I_{carga} es de 16 A

- Selección del contactor:
 - Al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 11.57 A$.
 - Se selecciona el contactor con un valor inmediato superior al valor de I_{carga} el cual es 12 A
- Selección del Relé térmico:
 - Al tenerse la corriente nominal $I_{carga} = 11.57 A$.
 - Se selecciona un relé térmico que posea el valor de la I_{carga} en su rango de trabajo, el cual es: 9 - 13 A.

Selección del controlador lógico programable (PLC)

La selección de un Controlador Lógico Programable debe basarse en una serie de parámetros que se adapten a los requisitos específicos de la aplicación y del sistema en el que se va a utilizar, una vez analizado las variables de medición y componentes que forman parte del banco de pruebas, para ello el controlador debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Capacidad de aumentar el número de entradas y salidas.
- Número de entradas analógicas (12 entradas).
- Número de salidas analógicas (12 salidas).
- Disponibilidad y costo en el mercado.
- Programable.
- Fácil manipulación e instalación.

Se elaboró una investigación de PLC en el mercado, en los cuales en la tabla 22 se presentan las mejores opciones.

Tabla 22

Matriz de selección de PLC

| Parámetro | Escala | Ponderación | DVP-SX2 | LOGO! (Siemens) | Micro Logix 1100 |
|-------------------------------------|--------|-------------|-------------|--------------------|---------------------|
| Entradas analógicas | 0-10 | 0.15 | 10/1.5 | 10/1.5 | 8/1.2 |
| Voltaje de entrada | 0-10 | 0.05 | 9/0.45 | 7/0.35 | 7/0.35 |
| Disponibilidad en el mercado | 0-10 | 0.15 | 10/1.5 | 7/1.05 | 6/0.9 |
| Programación | 0-10 | 0.2 | 9/1.8 | 10/2 | 5/1 |
| Costo | 0-10 | 0.2 | 8/1.6 | 6/1.2 | 10/2 |
| Facilidad de instalación | 0-10 | 0.15 | 10/1.5 | 8/1.2 | 7/1.05 |
| Funcionalidad | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 9/0.9 | 7/0.7 |
| Total | | 1 | 9.35 | 8.2 | 7.2 |

Nota. Se consultó la información más importante de las opciones de PLC en el mercado y fueron comparados para determinar cuál se acomoda a nuestra necesidad.

Analizada la tabla 22 se determinó que el PLC DVP-SX2 es el más adecuado para ser usado en el sistema de adquisición de datos en el banco de pruebas a diferencia de los otros tipos de PLC.

Figura 80

PLC DVP-SX2



Nota. Tipo de PLC seleccionado para el sistema de adquisición de datos (Garcia, 2011).

Selección de los sensores

Una vez seleccionado el controlador lógico programable DVP-SX2, los sensores que se conectarán a este deberán estar regidos a los parámetros de generar señales continuas dentro de un rango específico y ser compatibles con señales de corriente (4-20 mA) o voltaje (0-10 V).

Establecidos los parámetros del PLC, se prosigue a la búsqueda y disponibilidad en el mercado para la compra de sensores de temperatura y caudal tomando en cuenta que estos deberán cumplir con un rango de precisión de ± 0.1 para temperatura y $\pm 1\%$ de flujo.

Selección del sensor de temperatura

Es esencial para la selección de los sensores adecuados, estos deberán trabajar en un rango de temperaturas al que estarán expuesto. Además, deberán estar sujetas a las siguientes a los siguientes parámetros:

- Voltaje de alimentación "24 VDC"
- Transmisor de voltaje 0-10 V

- Resolución 10 bits
- Precisión +/- 0.1°C
- Fácil instalación
- Costo manejable

Tabla 23

Matriz de selección de sensores de temperatura

| Característica | Escala | Ponderación | HDT-500 | Termocupla tipo K | XTP25N- 030- N40140F |
|---|---------------|--------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Voltaje de alimentación | 0-10 | 0.15 | 10/1.5 | 7/1.05 | 5/0.75 |
| Resolución | 0-10 | 0.2 | 9/1.8 | 8/1.6 | 7/1.4 |
| Transmisor (4 a 20 mA o 0 a 10V) | 0-10 | 0.15 | 8/1.2 | 6/0.9 | 10/1.5 |
| Longitud de sonda | 0-10 | 0.25 | 10/2.5 | 5/1.25 | 7/1.75 |
| Facilidad de instalación | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 9/0.9 | 9/0.9 |
| Costo | 0-10 | 0.15 | 6/0.9 | 10/1.5 | 8/1.2 |
| Total | | 1 | 8.9 | 7.2 | 7.5 |

Establecidos los parámetros de trabajo se realizó la búsqueda de los sensores de temperatura, obteniendo en la tabla 23 las opciones de sensores que cumplen con los parámetros de trabajo, como siguiente paso se evaluó las características de cada sensor y

se determinó que el sensor HDT-500 es el más adecuado para implementarlo en el banco de pruebas ya que posee las mejores características que se ilustran en la tabla 24.

Tabla 24

Características del sensor de temperatura HDT-500

| Característica | Descripción |
|--------------------------|-----------------------|
| Voltaje de alimentación | 24 VDC |
| Salida | 0 - 10 V |
| Rango de medición | Adaptable |
| Temperatura de operación | -200°C a 600°C |
| Tipo de sensor | PT100 |
| Precisión | 0.1°C |
| Nivel de protección | IP67 |
| Material de sonda | Acero inoxidable 306L |

Figura 81

Sensor de temperatura HDT-500



Nota. Obtenido del manual del producto sensor YF-DN40 1.5 proporcionado por el fabricante.

Selección del sensor de caudal

Para la selección del sensor de caudal, es esencial que este sujeto los siguientes parámetros de funcionamiento:

- Voltaje de alimentación "24 VDC"
- Transmisor de voltaje 0-10 V

- Rango de medición 0-60 L/min
- Estabilidad +/- 0.1%
- Fácil instalación
- Costo manejable

Tabla 25*Matriz de selección de sensores de caudal*

| Característica | Escala | Ponderación | YF-DN40 | LWGY-40 | YF-S201C |
|-----------------------------------|--------|-------------|------------|------------|------------|
| | | | 1.5 | | |
| Voltaje de alimentación | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 8/0.8 | 8/0.8 |
| Transmisor | 0-10 | 0.2 | 8/1.6 | 10/2 | 6/1.2 |
| Rango de caudal | 0-10 | 0.15 | 10/1.5 | 5/0.75 | 7/1.05 |
| Temperatura de trabajo | 0-10 | 0.15 | 10/1.5 | 5/0.75 | 5/0.75 |
| Presión permitida | 0-10 | 0.1 | 7/0.7 | 8/0.8 | 9/0.9 |
| Precisión | 0-10 | 0.1 | 5/0.5 | 7/0.7 | 5/0.5 |
| Resistencia a la corrosión | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 10/1 | 9/0.9 |
| Costo | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 7/0.7 | 6/0.6 |
| Total | | 1 | 8.8 | 7.5 | 6.7 |

Analizando entre las distintas opciones de sensores de la tabla 25 se determinó que el sensor de caudal YF-DN40 1.5 cumple con los requerimientos necesarios para el funcionamiento en el banco de pruebas.

Tabla 26*Especificaciones del sensor de caudal YF-DN40 1.5*

| Característica | Descripción |
|-------------------------|--------------------|
| Voltaje de alimentación | 24 VDC |
| Salida | 0 - 10 V |
| Rango de caudal | 5 a 150 L/min |
| Temperatura permitida | -25°C a 90°C |
| Precisión | ±1% |
| Material | Acero inoxidable |

Figura 82*Sensor de caudal YF-DN40 1.5*

Nota. Obtenido del manual del producto sensor YF-DN40 1.5 proporcionado por el fabricante.

Selección del HMI

La selección de la interfaz HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para el banco de pruebas es una decisión importante, ya que esta interfaz es crucial para la interacción del operador con el sistema. La interfaz debe ser fácil de usar y comprender para los operadores, ya que mediante ella se obtiene menús intuitivos, navegación sencilla y una disposición lógica de la información contribuyen a la facilidad de uso.

Además, la HMI debe ser capaz de mostrar de manera clara y legible la información relevante sobre el intercambiador de calor, incluyendo datos de temperatura, caudal, presión,

etc. Seguido de la capacidad para mostrar gráficos y tendencias en tiempo real puede ser valiosa para el análisis y seguimiento de parámetros críticos durante las pruebas.

Para la selección de la interfaz HMI, es esencial que este sujeto los siguientes parámetros de funcionamiento:

- Voltaje de alimentación “24 VDC”
- Comunicación Ethernet
- Tamaño accesible
- Fácil manipulación e instalación
- Costo manejable

Tabla 27

Matriz de selección de interfaz HMI

| Característica | Escala | Ponderación | HMI KINCO | HMI | HMI |
|--------------------------------|--------|-------------|-------------|----------------------|----------------|
| | | | GL070E | TOUCHWIN TGA63 ET | EVIEW ET070 |
| Voltaje de alimentación | 0-10 | 0.1 | 10/1 | 7/0.7 | 7/0.7 |
| Tamaño de display | 0-10 | 0.2 | 10/2 | 7/1.4 | 6/1.2 |
| Puertos de comunicación | 0-10 | 0.2 | 8/1.6 | 8/1.6 | 10/2 |
| Programación desde PC | 0-10 | 0.25 | 10/2.5 | 7/1.75 | 5/1.25 |
| Costo | 0-10 | 0.25 | 7/1.75 | 6/1.5 | 6/1.5 |
| Total | | 1 | 8.85 | 6.95 | 6.65 |

Entre las opciones establecidas en la tabla 27, se determinó que la interfaz HMI KINCO GL070E se ajusta más a nuestra necesidad ya que cumple con la mayoría de requerimientos para la visualización de datos del banco de pruebas.

Figura 83

Interfaz HMI KINCO GL070E



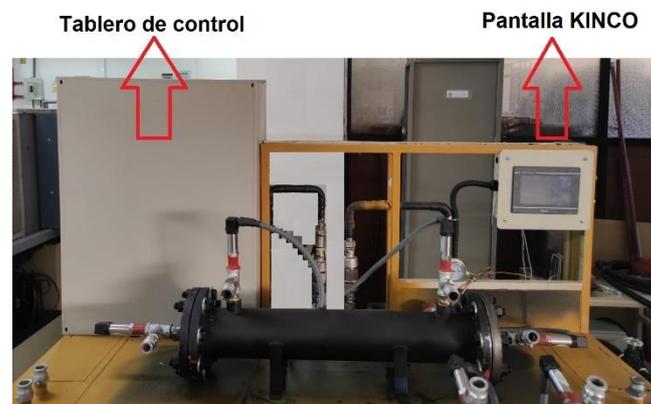
Nota. Obtenido del manual del producto sensor YF-DN40 1.5 proporcionado por el fabricante.

Diseño del sistema de adquisición de datos

La implementación del sistema de adquisición de datos consiste en la realización de nuevas conexiones eléctricas tanto de los sensores como los componentes que forman parte del banco de pruebas y serán almacenadas en el tablero de control descrito anteriormente, de tal forma que permitan medir, registrar y analizar datos relevantes durante las pruebas.

Diseño del tablero de control

Como mencionado en el capítulo IV, el sistema de adquisición de datos antiguo fue reemplazado totalmente por nuevos componentes almacenándolos en el tablero de control con un espacio suficiente para realizar las respectivas conexiones para el control y monitoreo de todos los componentes del banco de pruebas.

Figura 84*Diseño del tablero de control***Figura 85***Ubicación del tablero de control y la pantalla HMI*

En la figura 85 se ilustra el diseño del tablero con sus respectivos interruptores de control, los cuales van accionar o detener el funcionamiento de los componentes del banco de pruebas, un botón de paro de emergencia y además en el lateral izquierdo del tablero se encuentra el interruptor que se encargará de energizar todos los componentes e interruptores del tablero.

El botón de para de emergencia cumple una función crítica en entornos industriales o sistemas que requieren un medio rápido y efectivo para detener una máquina o un proceso en situaciones de emergencia, al presionar este botón, se corta la energía o se activa un mecanismo de parada para detener el funcionamiento del banco de pruebas.

En la figura 85 se ilustra el lugar donde se ha colocado la HMI de 7" para la visualización los datos e información de las pruebas a realizar en el equipo, la HMI es controlada de igual manera desde el tablero por medio de un interrupto de encendido.

Diseño del sistema eléctrico

Diseñar el sistema eléctrico del banco de pruebas implica la planificación y configuración de los componentes eléctricos necesarios para alimentar, controlar y monitorizar los componentes (actuadores) del banco de pruebas. El banco de pruebas consta de cinco actuadores, las bombas de agua y aceite, dos sistemas de refrigeración y la resistencia eléctrica.

Figura 86

Ubicación de los actuadores del banco de pruebas (Vista frontal)

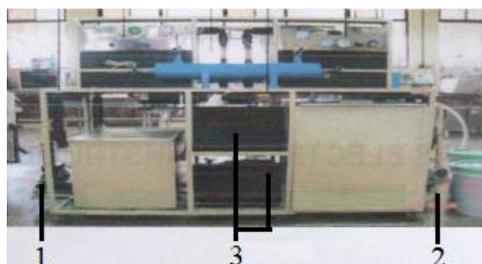
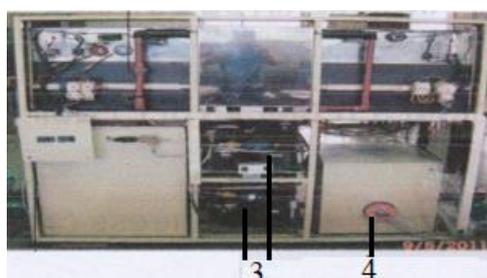


Figura 87

Ubicación de los actuadores del banco de pruebas (Vista posterior)



La bomba de aceite se encuentra localizada en la posición 1 de la figura 86, asegurada con pernos a su base, esta será controlada desde la pantalla HMI y energizada por el panel de control.

Tabla 28

Datos técnicos de la bomba de aceite

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Marca | SAEK |
| Voltaje de alimentación | 220 V |
| Potencia | 1 HP |
| Caudal | 50 L/min |
| RPM | 3450 |

La bomba de agua se encuentra localizada en la posición 2 de la figura 86, asegurada con pernos a su base, esta será controlada desde la pantalla HMI y energizada por el panel de control.

Tabla 29

Datos técnicos de la bomba de agua

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Marca | Myers |
| Voltaje de alimentación | 110 V |
| Potencia | 1 HP |
| Caudal | 90 L/min |
| RPM | 3450 |

El sistema de refrigeración (enfriamiento del agua) encuentra localizada en la posición 3 de la figura 86 y figura 87, asegurada con pernos a la base de la estructura, esta será controlada desde la pantalla HMI y energizada por el panel de control.

Tabla 30*Datos técnicos del sistema de refrigeración*

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Marca | TECUMSEH |
| Voltaje de alimentación | 220 V |
| Potencia | 1 HP |
| Frecuencias | 60 Hz |

La resistencia para el calentamiento del aceite se encuentra localizada en la posición 4 de la figura 87, asegurada con pernos y silicona al reservorio de aceite, esta será controlada desde la pantalla HMI y energizada por el panel de control.

Tabla 31*Datos técnicos de la resistencia*

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Consumo | 1.5 Kw/h |
| Voltaje de alimentación | 220 V |

Dimensionamiento del consumo del sistema de adquisición de datos

Para el dimensionamiento en la parte eléctrica del banco de pruebas se hará en base a los componentes empleados en el sistema de adquisición de datos que se detallaran a continuación, para así asegurarse de que el panel esté alimentado adecuadamente y pueda soportar la carga de todos los componentes es esencial para un rendimiento seguro y eficiente.

Tabla 32*Datos técnicos del PLC modular DVP-SX2*

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Marca | DVP |
| Voltaje de alimentación | 24 VDC |
| Consumo eléctrico | 0.5 A |

Tabla 33*Datos técnicos de los sensores de temperatura HDT-500*

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Marca | HDT |
| Voltaje de alimentación | 24 VDC |
| Consumo eléctrico | 0.35 A |

Tabla 34*Datos técnicos del sensor de caudal YF-DN40 1.5*

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Marca | YF |
| Voltaje de alimentación | 24 VDC |
| Consumo eléctrico | 0.2-0.5 A |

Tabla 35*Datos técnicos del HMI KINCO GL070E*

| Característica | Especificación |
|-------------------------|-----------------------|
| Marca | KINCO |
| Voltaje de alimentación | 24 VDC |

| Característica | Especificación |
|-------------------|----------------|
| Consumo eléctrico | 0.5 - 0.9 A |

Dimensionamiento de la fuente de alimentación eléctrica

El dimensionamiento de la fuente de alimentación implica calcular la potencia necesaria para alimentar todos los componentes eléctricos del panel de control, tomando la información de las características eléctricas de los componentes en las tablas anteriores, se realiza el respectivo cálculo.

Tabla 36

Especificaciones eléctricas de cada componente para el dimensionamiento de la fuente de alimentación

| Componente | Cantidad | Corriente nominal | Total |
|--|----------|-------------------|--------------|
| PLC modular DVP-SX2 | 1 | 0.7 A | 0.7 A |
| Sensores de temperatura HDT-500 | 10 | 0.2 A | 2 A |
| Sensores de caudal YF- DN40 1.5 | 2 | 0.5 A | 1 A |
| HMI KINCO GL070E | 1 | 0.5 A | 0.5 A |
| Total | | | 4.2 A |

La corriente para dimensionar la fuente es de 4.2 A, pero a este valor se le debe aplicar un factor de seguridad entre 10-20% para tener en cuenta posibles aumentos de carga, variaciones en la corriente de arranque y futuras expansiones del sistema, para la seguridad se aplicará un factor del 15%.

$$I_{fuente} = 1.15(\text{Corriente nominal}) = 1.15(4.2 A) = 4.9 A$$

La fuente de alimentación debe tener la capacidad de abastecer con 24VDC y 5 A, además deberá constar de un riel DIN para su fijación en el tablero de control. Mediante la búsqueda y disponibilidad en el mercado se seleccionó la fuente de alimentación de 24 VDC y 5 A con riel DIN que se ilustra en la figura 88.

Figura 88

Fuente de alimentación DC



Nota. Obtenido del manual del producto fuente de 24 VDC y 5 A proporcionado por el fabricante.

Cableado para el sistema eléctrico

Para corriente alterna 110 VAC se empleará un conductor AWG #16 que soportan una corriente máxima de 5 A y cuenta con aislamiento THW, mientras que para la corriente directa se empleará un conductor AWG #18 precisamente para la parte eléctrica de todos los sensores.

Implementación del sistema de adquisición de datos

Para la implementación del sistema se debe seguir el siguiente procedimiento para el armado, el cual implica la integración de los componentes eléctricos y sistemas de control para supervisar y gestionar el funcionamiento del banco de pruebas.

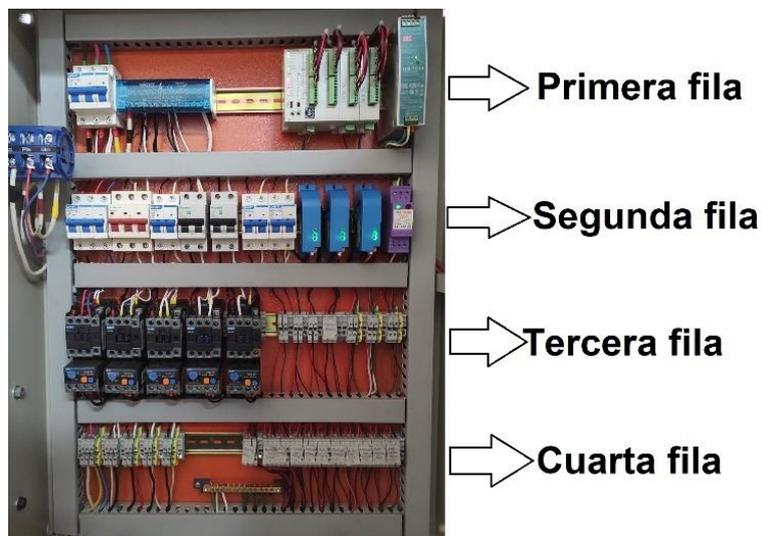
Primero se debe realizar detalladamente diseño eléctrico por medio del software AutoCAD Electrical para realizar las conexiones y distribución de los componentes con el respectivo espaciado y así determinar las dimensiones del tablero de control para la respectiva compra.

Una vez disponible el tablero se prosigue con la instalación de los carriles DIN o montantes y canaletas en el panel de control, estos proporcionarán el soporte necesario para montar los componentes eléctricos y colocación del cableado respectivamente.

Como recomendación los componentes que se conectarán en el tablero deberán tener una separación mínima de cuarenta milímetros con el propósito de facilitar el manejo y ventilación, en la figura 89 se puede visualizar la distribución de los componentes del tablero de control.

Figura 89

Distribución de los componentes en el tablero de control



Distribución general de los componentes en el tablero de control

Se han colocado 4 filas de riel DIN para la distribución de los componentes, las cuales se van a distribuir de la siguiente manera de derecha a izquierda:

Primera fila

- Fuente de alimentación: Su función es suministrar energía eléctrica a todos los componentes eléctricos y electrónicos dentro del panel.

- PLC con su respectivo módulo de expansión: Este componente consta de un módulo de expansión mayor número de entradas y salidas, su función principal es detectar distintos tipos de señales del proceso y enviar información según lo programado.
- Repartidor de carga de dos polos: Su función es distribuir equitativamente la carga entre diferentes fases o circuitos para evitar desequilibrios.
- Interruptor termomagnético de tres polos: Cuando se detecta una corriente excesiva durante un periodo prolongado, el dispositivo térmico se activa, abriendo los tres polos y desconectando el circuito para proteger contra sobrecargas.

Segunda fila

- Supresor de dos polos: Su función principal es proteger los equipos eléctricos y electrónicos dentro del panel de control contra sobretensiones transitorias, de tal forma que cuando se detecta una sobretensión, el supresor actúa desviando la corriente transitoria hacia tierra.
- Transductor de corriente alterna: Su función principal es medir la corriente eléctrica que fluye por un conductor y convertirla en una señal eléctrica proporcional que se pueda utilizar para monitorear y controlar el sistema.
- Interruptores termomagnéticos de dos polos: Su función es detectar una corriente excesiva durante un periodo de trabajo, el mecanismo térmico se activa y abre el interruptor para desconectar el circuito, protegiendo así contra sobrecargas.

Tercera fila

- Grupo de borneras: Su función es proporcionar puntos de conexión seguros y accesibles para los cables eléctricos, además permiten la conexión y desconexión rápida y sencilla de los conductores eléctricos sin necesidad de realizar empalmes directos en el interior del panel.

- Contactores de tres polos: Permiten el control remoto de dispositivos eléctricos al ser activados o desactivados mediante señales eléctricas, esto es común en sistemas de automatización y control industrial.
- Relés térmicos: Su función principal es monitorear la corriente que fluye hacia los contactores, si la corriente excede un nivel predeterminado durante un periodo prolongado, el relé térmico se activa y desconecta el contactor para evitar daños por sobrecalentamiento.

Cuarta fila

- Borneras de potencia: Proporcionan puntos de conexión para cables de mayor calibre que transportan la energía eléctrica de alta potencia, estos cables generalmente provienen de la fuente de alimentación de la red eléctrica.
- Barra de tierra: La función principal es proporcionar un camino de baja resistencia para la corriente en caso de un fallo o cortocircuito en el sistema eléctrico, es decir cuando se produce una falla, la barra de tierra garantiza que la corriente fluya de manera segura hacia tierra en lugar de buscar rutas no deseadas a través de componentes o personas.

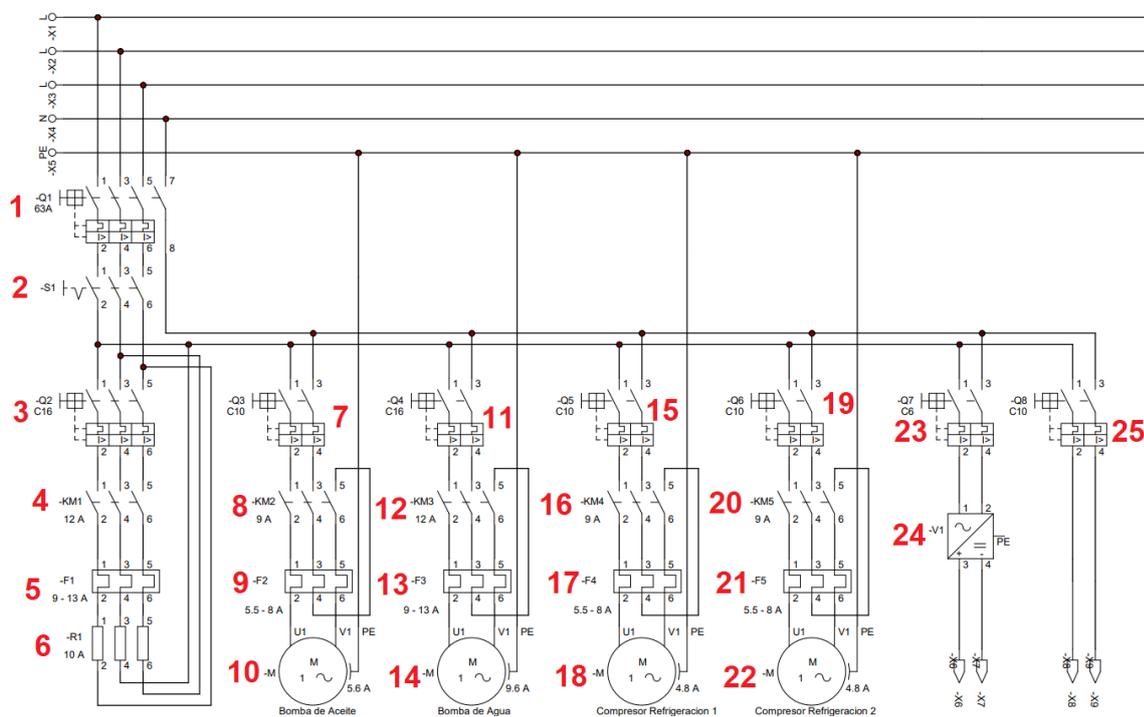
Conexión de los componentes del sistema eléctrico

El sistema eléctrico está constituido por elementos que permiten el funcionamiento y protección de los componentes que forman parte de banco de pruebas, los cuales se conectan como se indica en el diagrama de la figura 90, según este diagrama se realizan las conexiones en el tablero de control.

En la tabla 37 se detalla para una mejor comprensión el significado de la simbología empleada en diagrama de conexión del sistema eléctrico

Figura 90

Diagrama eléctrico de las conexiones de los componentes de banco de pruebas



Nota. En la tabla 37 se especifican la descripción de cada componen localizado en el diagrama eléctrico.

Tabla 37

Descripción de la simbología de los elementos eléctricos

| Número | Elemento | Descripción |
|--------|---|---|
| 1 | Interruptor termomagnético de tres polos. | Protege al interruptor de levas contra sobrecargas. |
| 2 | Interruptor de levas. | Permite activar o desactivar diferentes componentes del circuito. |
| 3 | Interruptor termomagnético de tres polos. | Protege al contactor de tres polos (4) contra sobrecargas. |

| Número | Elemento | Descripción |
|--------|--|--|
| 4 | Contactor de tres polos. | Permite el control remoto de la resistencia al ser activada o desactivada. |
| 5 | Relé térmico. | Monitorea la corriente que fluye hacia el contactor de la resistencia. |
| 6 | Resistencia | Calienta al fluido de aceite. |
| 7 | Interruptor termomagnético de dos polos. | Protege al contactor de tres polos (8) contra sobrecargas. |
| 8 | Contactor de tres polos. | Permite el control remoto de la bomba de aceite al ser activada o desactivada. |
| 9 | Relé térmico. | Monitorea la corriente que fluye hacia el contactor de la bomba de aceite. |
| 10 | Bomba de aceite. | Impulsa al fluido de aceite desde el reservorio hacia la red de tuberías. |
| 11 | Interruptor termomagnético de dos polos. | Protege al contactor de tres polos (12) contra sobrecargas. |
| 12 | Contactor de tres polos. | Permite el control remoto de la bomba de agua al ser activada o desactivada. |
| 13 | Relé térmico. | Monitorea la corriente que fluye hacia el contactor de la bomba de agua. |
| 14 | Bomba de agua. | Impulsa al fluido de agua desde el reservorio hacia la red de tuberías. |
| 15 | Interruptor termomagnético de dos polos. | Protege al contactor de tres polos (16) contra sobrecargas. |
| 16 | Contactor de tres polos. | Permite el control remoto de la unidad de refrigeración I al ser activada o desactivada. |

| Número | Elemento | Descripción |
|--------|--|---|
| 17 | Relé térmico. | Monitorea la corriente que fluye hacia el contactor de la unidad de refrigeración I. |
| 18 | Unidad de refrigeración I. | Enfriar al fluido de agua del reservorio. |
| 19 | Interruptor termomagnético de dos polos. | Protege al contactor de tres polos (20) contra sobrecargas. |
| 20 | Contactor de tres polos. | Permite el control remoto de la unidad de refrigeración II al ser activada o desactivada. |
| 21 | Relé térmico. | Monitorea la corriente que fluye hacia el contactor de la unidad de refrigeración II. |
| 22 | Unidad de refrigeración II. | Ayuda a la unidad de refrigeración I a enfriar al fluido de agua del reservorio. |
| 23 | Interruptor termomagnético de dos polos. | Protege a la fuente de alimentación DC contra sobrecargas. |
| 24 | Fuente de alimentación | Suministra energía eléctrica a todos los componentes de mando (selector, luz piloto, botón de paro) del panel de control. |
| 25 | Interruptor termomagnético de dos polos. | Protege a los componentes de mando contra sobrecargas. |

Nota. Se especifica el significado función de cada símbolo (componente) del diagrama para una mejor comprensión de la conexión realizada en el tablero de control.

Conexión de los sensores de temperatura

Como primer paso se realizó la instalación de los sensores de temperatura en las distintas partes del banco de pruebas como se indica en la figura 91 la instalación en los

intercambiadores de calor y en la figura 92 la instalación en los reservorios de los fluidos de trabajo.

Figura 91

Instalación de los sensores de temperatura en los intercambiadores de calor



Figura 92

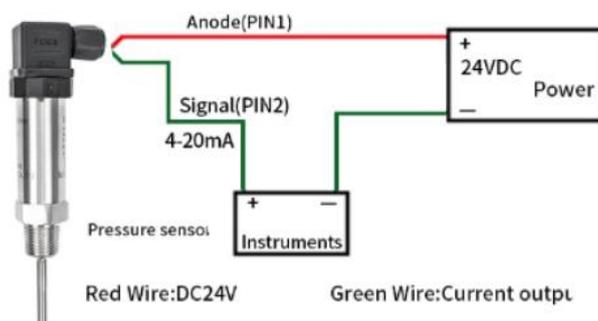
Instalación de los sensores de temperatura en los reservorios de los fluidos de trabajo



Para la conexión del sensor de temperatura se siguió las instrucciones proporcionadas por el manual del fabricante ilustrado en la figura 93.

Figura 93

Diagrama de conexión del sensor de temperatura HDT-500



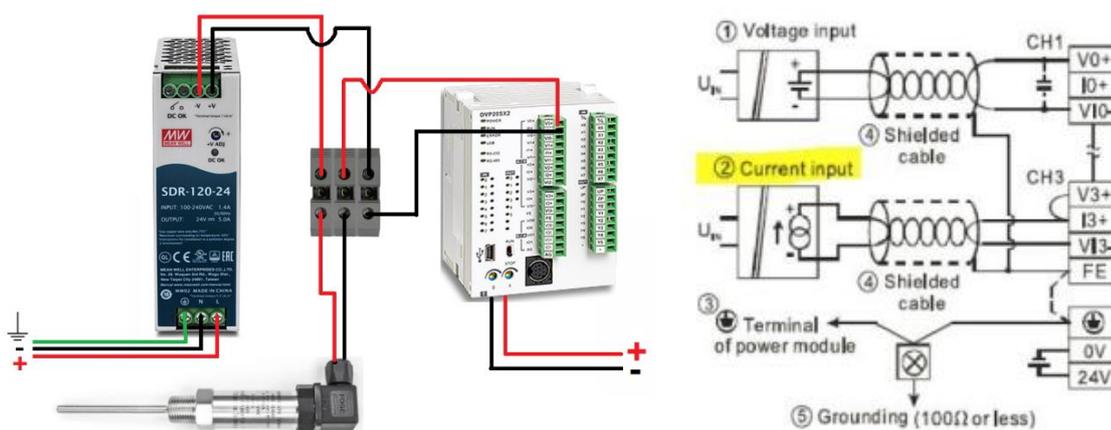
Nota. Obtenido del manual proporcionado por el fabricante.

El sensor de temperatura PT100 HDT-500 está conectado a un transmisor de temperatura, que convierte la señal de resistencia del sensor en una señal de corriente de 4-20 mA.

La salida del transmisor de temperatura se conecta a una entrada analógica del PLC como se indica en la figura 94.

Figura 94

Conexión del sensor de temperatura al PLC



Nota. Para las conexiones de los sensores se empleó cable de AWG #22.

Conexión de los sensores de caudal

Como primer paso se instalaron los sensores de caudal en los tramos finales de la red de tuberías de los fluidos de trabajo como se observa en la figura 95.

Figura 95

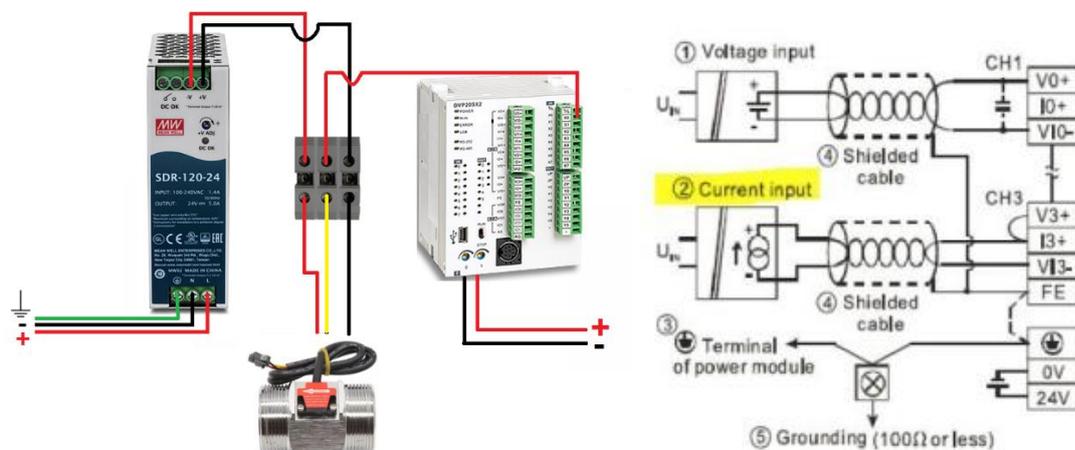
Instalación de los sensores de caudal en la red de tuberías de ambos fluidos de trabajo



Pese a que no se encontró un manual de instrucciones del sensor de caudal se siguió el mismo procedimiento que el sensor de temperatura HDT-500 obteniendo la conexión al PLC como se indica en la figura 96.

Figura 96

Conexión del sensor de caudal al PLC



Nota. Para las conexiones de los sensores se empleó cable de AWG #22.

El sensor utiliza unas aspas para medir la cantidad de líquido que fluye a través del interior del dispositivo, este sensor emite pulsos por litro como medida, los cuales son enviados al PLC.

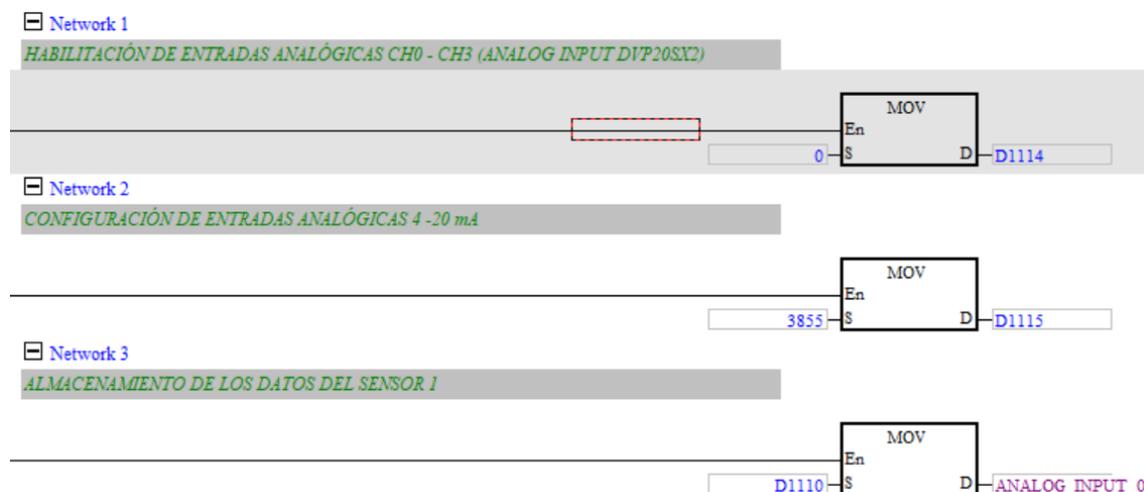
Programación del PLC

La programación de PLC en ISPsoft (software de programación) se refiere al proceso de crear y diseñar un programa de control por medio de un lenguaje de programación como este caso ladder, el cual resulta fácil de manejar y entender.

Como primer paso de la programación se deben habilitar las entradas del PLC, de tal forma que pueda recibir las señales o datos en este caso de los sensores de temperatura y caudal como se indica en la figura 97.

Figura 97

Habilitación de las entradas del PLC para el almacenamiento de datos

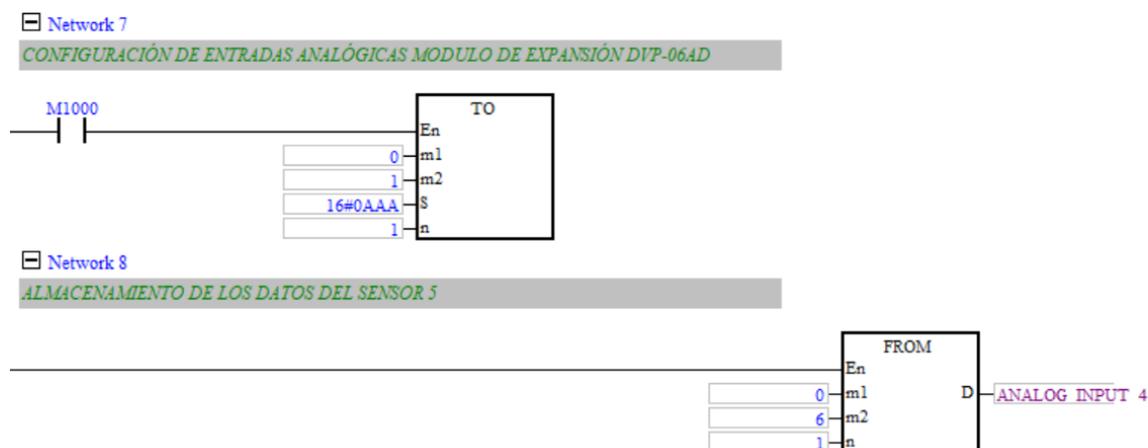


Nota. Este paso permite que el PLC reciba las señales que emiten los sensores.

Debido a que el PLC consta de un número limitado de entradas analógicas y digitales (cuatro entradas analógicas y cuatro digitales), es necesario implementar un módulo de expansión para aumentar el número de entradas para conectar los sensores de temperatura y caudal disponibles, como segundo paso se realizó la configuración de las entradas del módulo de expansión para el almacenamiento de datos como se indica en la figura 98.

Figura 98

Configuración de las entradas del módulo de expansión para el almacenamiento de datos



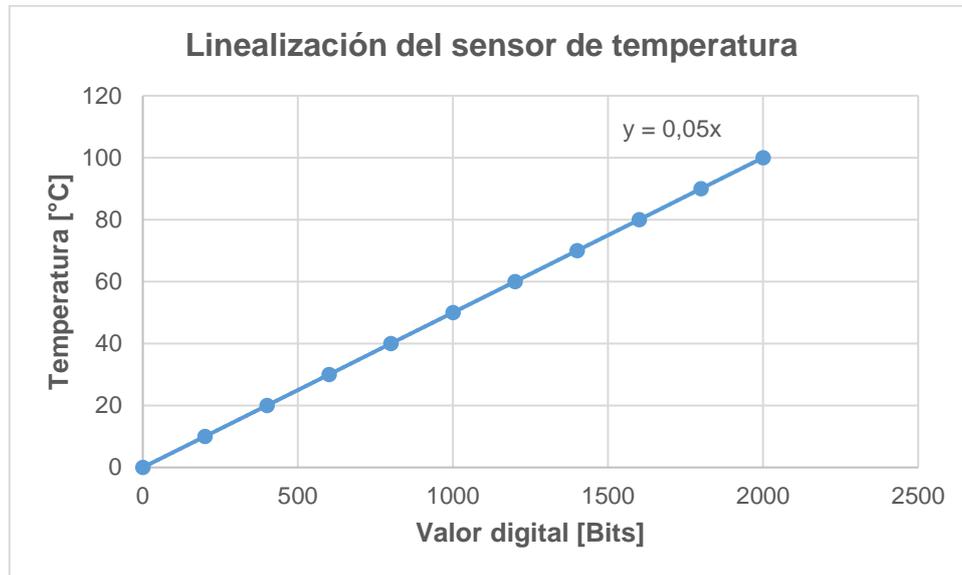
Nota. Si no se configura el módulo de expansión no se podrá almacenar los datos emitidos por los sensores de temperatura restantes.

Una vez realizada la configuración para el almacenamiento de datos se realizó la conversión del valor de entero a flotante debido a que se encuentran relacionadas con la precisión y la representación de los datos.

Acondicionamiento para los sensores de temperatura

El propósito de realizar el acondicionamiento a los sensores es para mejorar la precisión, la estabilidad y la compatibilidad de los sensores de temperatura con los sistemas de control, adquisición de datos o monitoreo, esto permitirá reducir el porcentaje de error en los datos.

Los sensores de temperatura producen señales no lineales en respuesta a cambios de temperatura, para ello el acondicionamiento implica convertir estas señales no lineales en valores de temperatura lineales y más fáciles de interpretar, los cuales se pueden observar en la figura 99.

Figura 99*Linealización del sensor de temperatura*

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{y - 0}{100 - 0} = \frac{x - 0}{2000 - 0}$$

$$\frac{y}{100} = \frac{x}{2000}$$

$$y = \frac{x}{20}$$

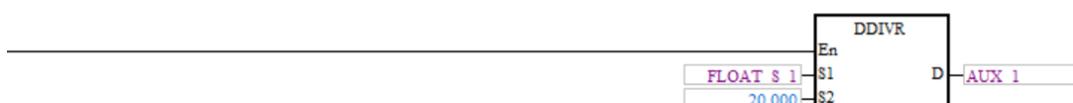
$$y = 0.05x$$

Establecemos el valor de linealización a cada uno de los sensores como se indica en la figura 100.

Figura 100*Ingreso de la ecuación de linealización al programa*

Network 37

ESCALAMIENTO DEL SENSOR 1 (TEMP. ENTRADA AGUA INTERCAMBIADOR 1)



Nota. La linealización es necesaria para poder obtener datos reales proporcionada por los sensores.

Acondicionamiento para los sensores de caudal

Como primer paso se realiza la lectura de los datos que proporciona el sensor como se indica en la figura 101, estos datos son tomados cada 60 segundos y recibidos en forma de pulsos (27 pulsos por cada litro), los cuales son almacenados en una variable contador para la obtención de la frecuencia.

Figura 101

Lectura de datos del sensor de caudal

Network 60

LECTURA DE DATOS DEL SENSOR DE ACEITE ENTRADA X5



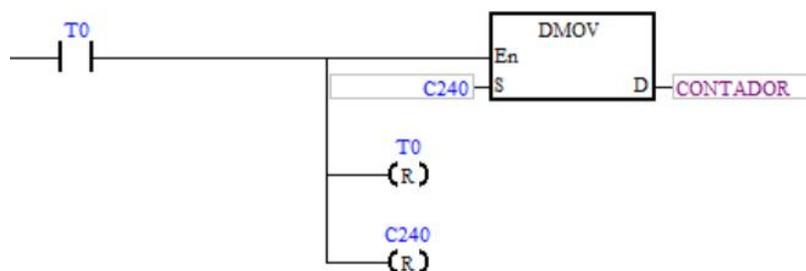
Network 61

TEMPORIZADOR DE MUESTREO 60 SEG



Network 62

ALMACENAMIENTO DE LOS PULSOS EN LA VARIABLE CONTADOR



Network 64

OBTENCION DE LA FRECUENCIA EN HZ DEL SENSOR DE CAUDAL DE ACEITE



Nota. Este paso permite que el PLC reciba las señales que emiten los sensores.

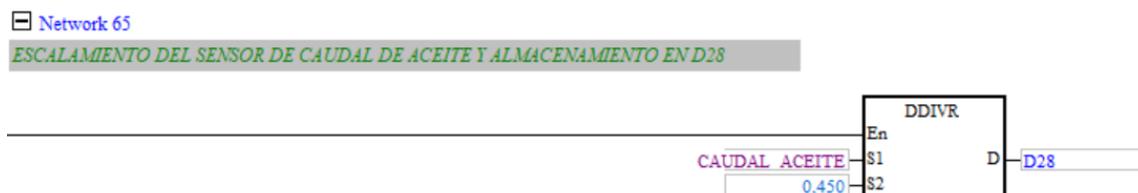
Para la obtención de la medida del caudal se debe realizar un escalamiento cuyo proceso es utilizado en sistemas de medición de flujo para convertir la salida del sensor de caudal en unidades de flujo específicas o en un rango más adecuado, el escalamiento consiste en realizar la siguiente operación empleando la frecuencia obtenida anteriormente.

$$Q = \frac{\text{Frecuencia [Hz]}}{0.45} [\text{L/min}]$$

Establecemos la operación de escalamiento para los sensores de caudal como se indica en la figura 102.

Figura 102

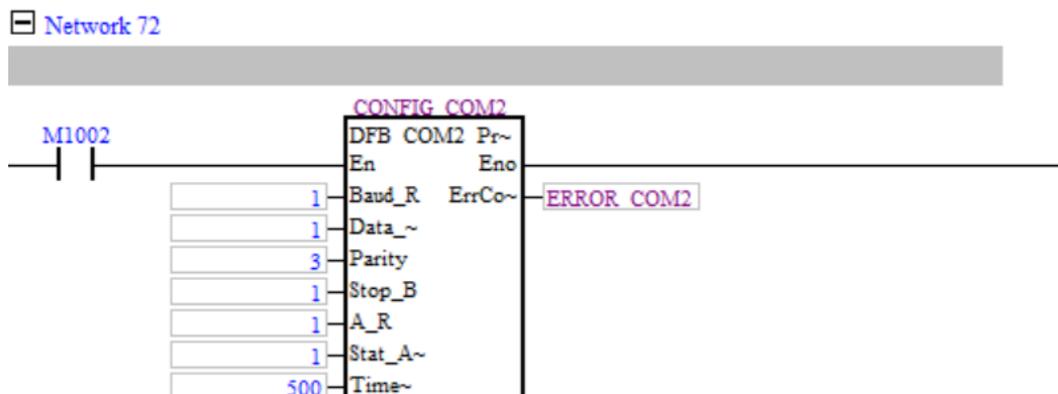
Ingreso de la ecuación de escalamiento al programa



Como último paso de la programación del PLC se establece la comunicación serial para el envío de datos e información desde el PLC a la interfaz HMI como se indica en la figura 103.

Figura 103

Configuración de la comunicación entre el PLC y la interfaz HMI



Diseño y programación de la interfaz Hombre - Máquina (HMI)

Para la programación de la interfaz Hombre – Máquina se empleó el software KINCO DTools V4.3.0 proveniente de la marca de la pantalla KINCO, este software permite la creación de pantallas de visualización personalizadas para interactuar con los sistemas de control utilizando una variedad de elementos gráficos, como botones, indicadores, gráficos y alarmas.

Configuración conexión PLC-HMI

Para la comunicación entre el PLC y la interfaz se empleó el protocolo de comunicación ethernet, mediante el cual se conectan ambos dispositivos por medio de la dirección IP como se observa en la figura 104.

Figura 104

Configuración de la dirección IP

The screenshot displays the 'Network Setting' window. It includes a checkbox for 'Enable FTP' with a password field set to '888888'. There are three buttons on the right: 'Network Device Setting', 'Data Transmission Setting', and 'System Param Setting'. A checkbox for 'Multi route cross network segment' is checked. Below, the 'Network 0 Setting' section contains a table of network parameters:

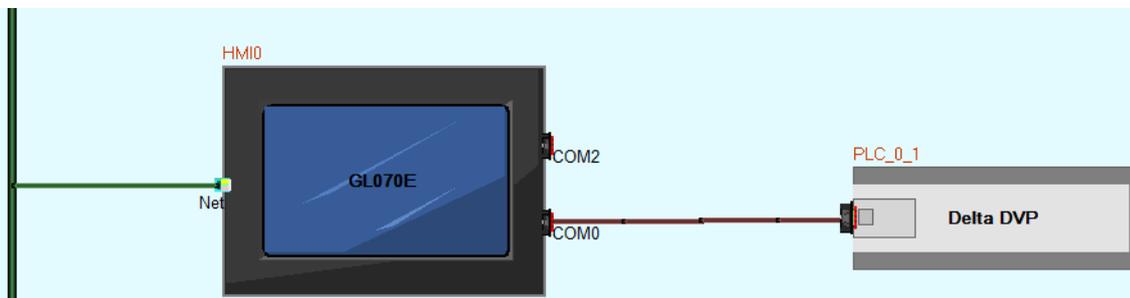
| Network 0 Setting | | | |
|-------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| IP | 192 . 168 . 0 . 253 | Subnet Mask | 255 . 255 . 255 . 0 |
| | | Default Gateway | 192 . 168 . 0 . 1 |
| | | DNS1 | 0 . 0 . 0 . 0 |
| | | DNS2 | 0 . 0 . 0 . 0 |

Nota. Es necesario asignar direcciones IP a ambos dispositivos y asegurarse de que estén en la misma subred.

Para la conexión entre ambos dispositivos se establece a la HMI con principal y al PLC como secundario como se observa en la figura 105, para la conexión física se emplea un cable tipo VGA conectado desde un puerto de comunicación del HMI hacia el PLC.

Figura 105

Diagrama red de comunicación entre HMI y PLC



Nota. Este paso es esencial para que exista la interacción entre la interfaz HMI y el PLC.

Diseño de la interfaz pantalla de inicio

Una vez establecida la conexión entre la interfaz HMI y el PLC se procede con el diseño de pestañas de visualización, todo se rige bajo la norma ISA 101.01-2015, la cual establece los estándares para el diseño, construcción, y operación de un HMI para el correcto manejo del sistema de control del proceso.

Figura 106

Pantalla de inicio de la interfaz HMI



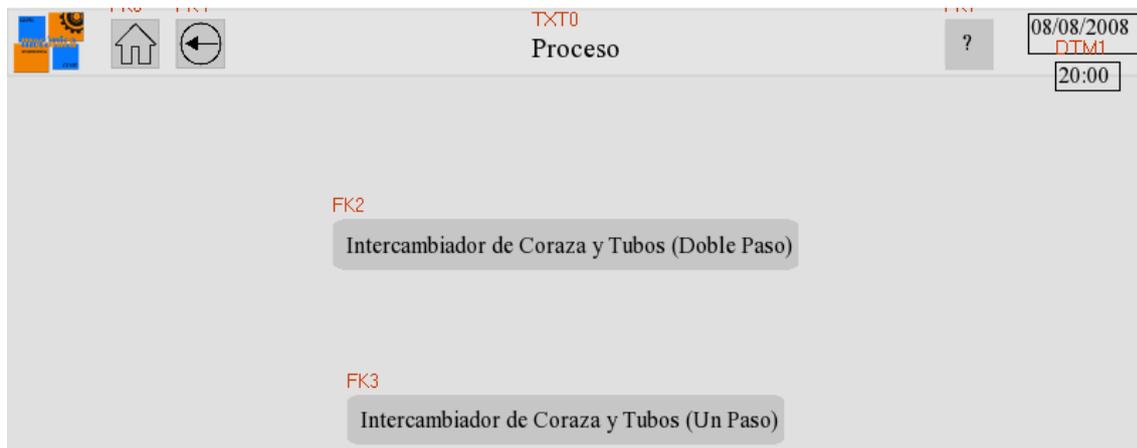
Nota. En la página principal se indica información básica del equipo, el menú de opciones y los autores del desarrollo del proyecto.

Diseño de la interfaz selección de práctica

La barra de menú que se observa en la figura 106 está conformada por una sección de proceso y otra de gráficas, al presionar la opción de proceso se visualiza el diseño de la pantalla de selección de proceso que se observa en la figura 107, seguido de la información de la fecha y hora.

Figura 107

Pantalla selección de proceso en la interfaz HMI

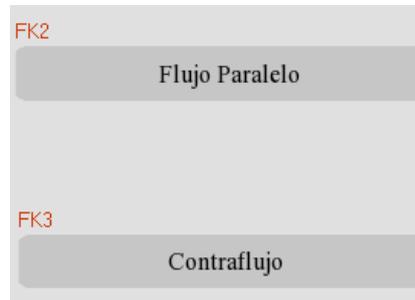


Nota. Cada proceso depende el intercambiador de calor conectado al equipo banco de pruebas.

Al seleccionar el intercambiador de calor conectado al equipo se visualizan dos opciones que se observa en la figura 108, las cuales consiste en el tipo de flujo a emplear en la práctica, la selección de esas opciones dependerá de la forma en que se conecten las mangueras al intercambiador de calor.

Figura 108

Pantalla selección del flujo de los fluidos de trabajo



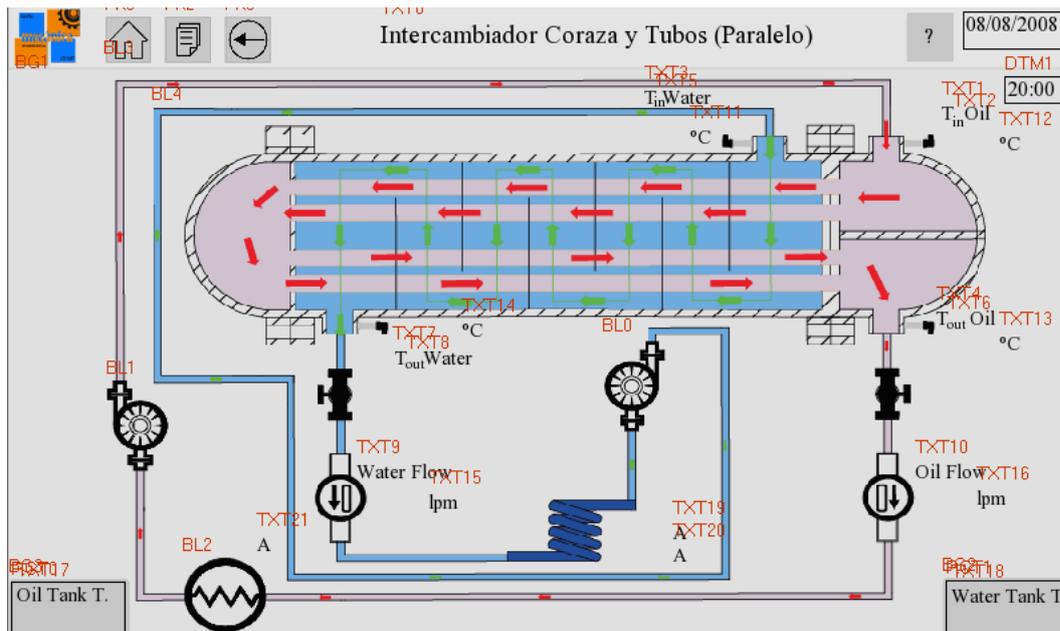
Nota. Selección de flujo en el cual está conectado el intercambiador de calor.

Diseño de la interfaz Intercambiador de coraza y tubos (doble paso) flujo paralelo

Luego de seleccionar el flujo se visualizará el diseño de la pantalla del intercambiador de calor (doble paso) de coraza y tubos que se observa en la figura 109, intercambiador nuevo.

Figura 109

Pantalla visualización de datos en el intercambiador de calor de coraza y tubos (doble paso) flujo paralelo



Nota. Se visualizan los valores numéricos con sus respectivas unidades de medición.

En la figura 109 se visualiza información como las temperaturas de entrada y salida de los fluidos de trabajo en el intercambiador de calor, las temperaturas a la que se encuentran los fluidos en los respectivos reservorios y la cantidad de caudal que circula por la red de tuberías. La interfaz está constituida por una animación en la cual las flechas circulan por el intercambiador indicando como circulan los fluidos, además la interfaz indica cuando los componentes del banco de pruebas (bombas, resistencia y unidades de refrigeración) se encuentran activos.

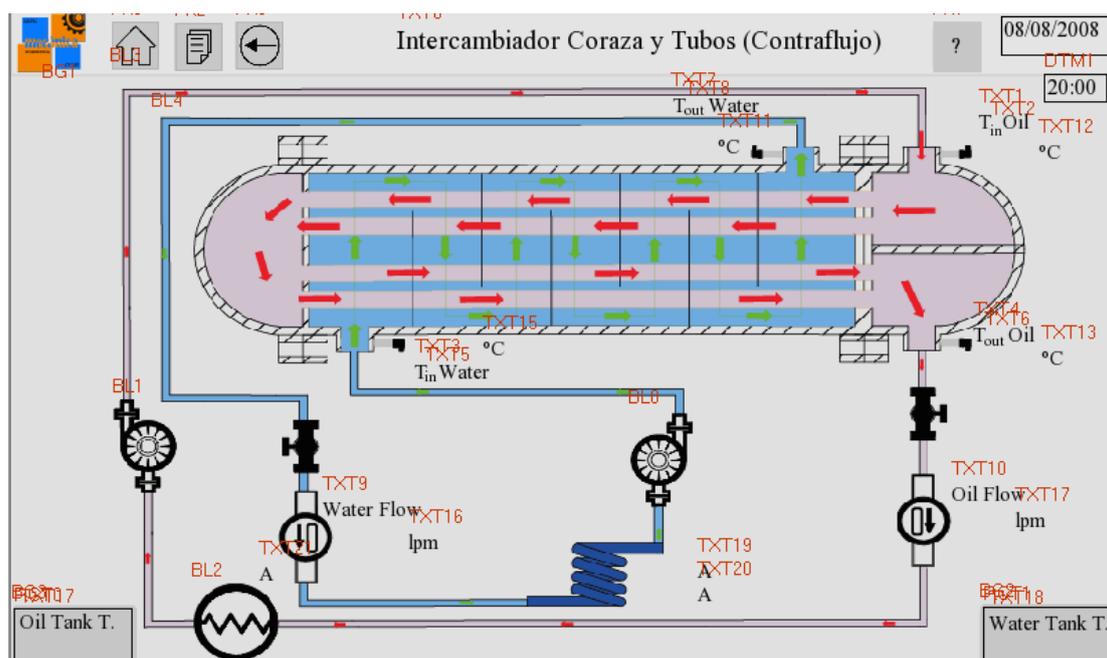
En esta interfaz el flujo de los fluidos de paralelo, el flujo del aceite (flechas rojas) va en la misma dirección que el flujo del agua (flechas verdes).

Diseño de la interfaz Intercambiador de coraza y tubos (doble paso) contracorriente

Para el diseño de esta interfaz se tomó en cuenta que ahora el flujo del agua (flechas verdes) que circula dentro de la carcasa del intercambiador es contrario al flujo del aceite (flechas rojas) como se observa en la figura 110.

Figura 110

Pantalla visualización de datos en el intercambiador de calor de coraza y tubos (doble paso) contracorriente



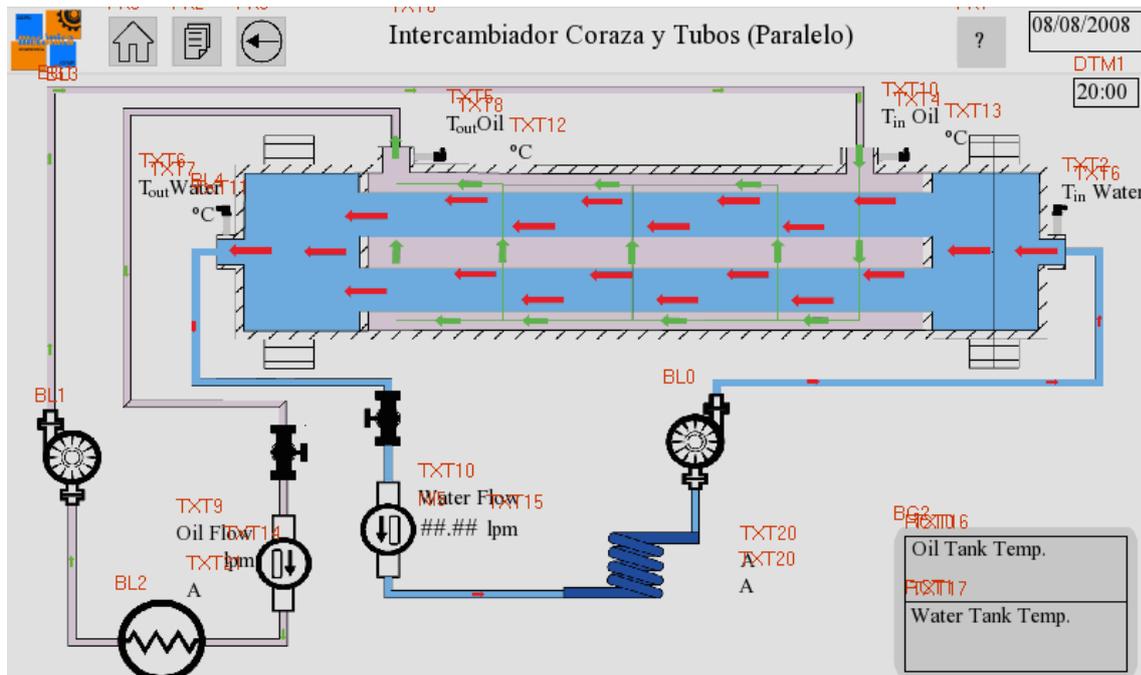
Nota. Se visualiza la misma información del proceso anterior.

Diseño de la interfaz Intercambiador de coraza y tubos (un paso) flujo paralelo

Para el diseño de esta interfaz se cambiará de intercambiador de calor de doble paso a uno de un paso en el banco de pruebas, en este diseño se visualizará la misma información del otro intercambiador de calor, las temperaturas, cantidad de caudal y flujo de los fluidos de trabajo como se observa en la figura 111.

Figura 111

Pantalla visualización de datos en el intercambiador de calor de coraza y tubos (un paso) flujo paralelo



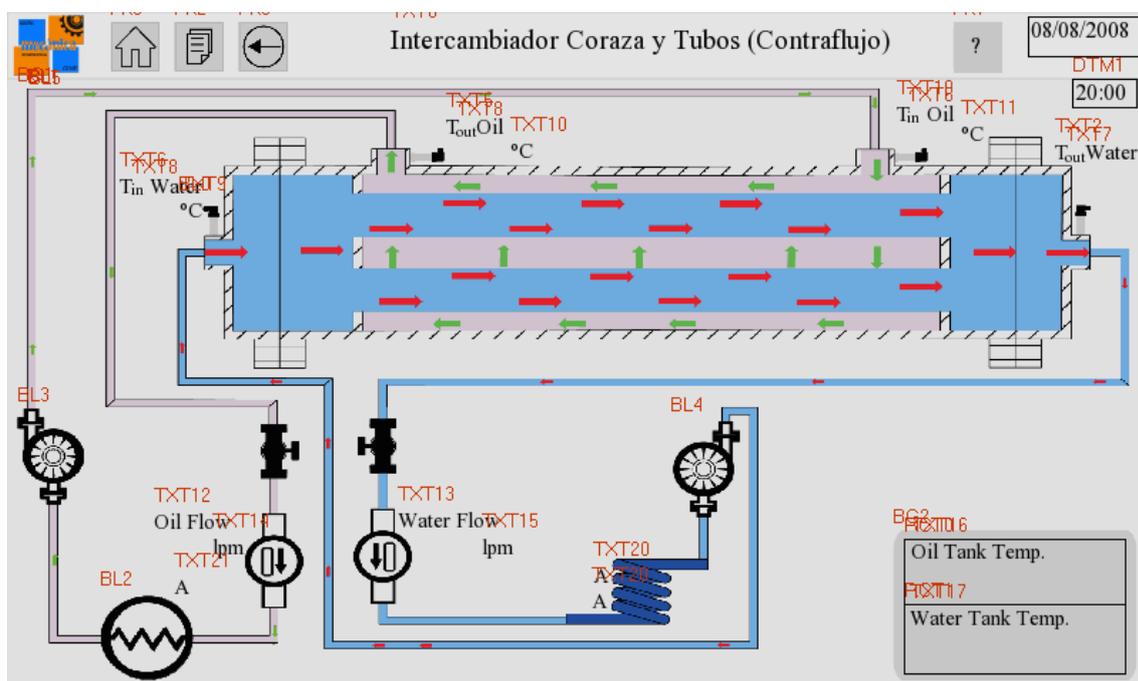
Nota. Este intercambiador de calor consta de cuatro tubos en su interior por donde circula el agua (flechas rojas) y al exterior donde circula el aceite (flechas verdes), ambas en la misma dirección.

Diseño de la interfaz Intercambiador de coraza y tubos (un paso) contracorriente

En el diseño de esta interfaz el flujo del agua ahora es contrario al del aceite como se observa en la figura 112 visualizando la misma información que el otro intercambiador de calor.

Figura 112

Pantalla visualización de datos en el intercambiador de calor de coraza y tubos (un paso) contracorriente



Nota. El flujo del agua (flechas rojas) ahora es contrario al del aceite (flechas verdes).

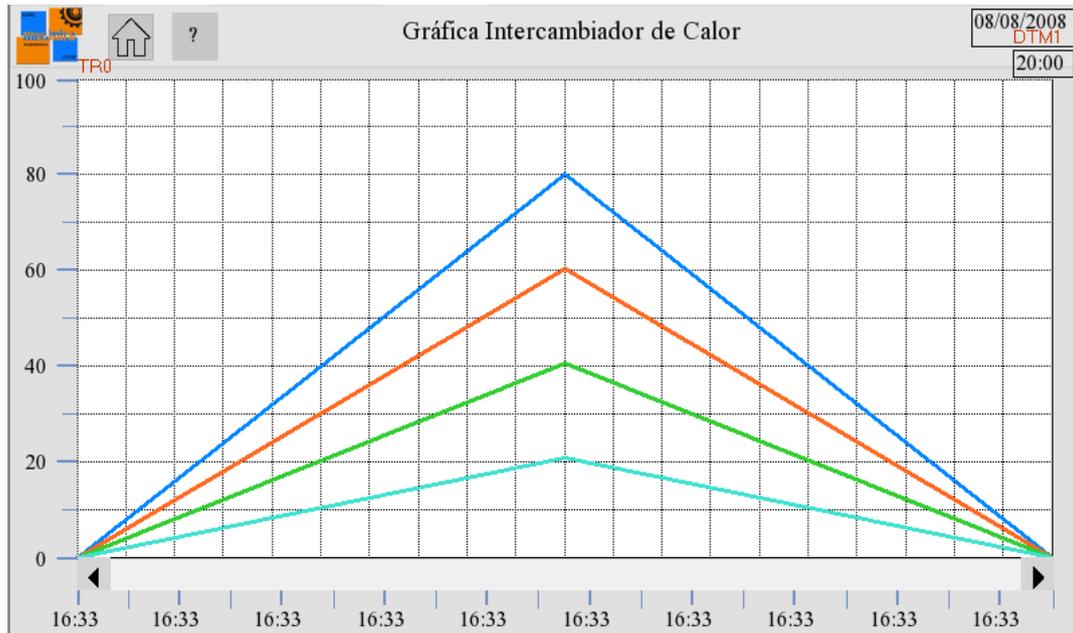
Diseño de la interfaz visualización de datos en forma de tabla

En cada una de las pantallas diseñadas anteriormente existe un botón en la parte superior izquierda en la cual al presionarlo nos dirige a otra pantalla en la cual se puede visualizar los datos de manera resumida en una tabla como se observa en la figura 113.

como cambios abruptos o tendencias de calentamiento o enfriamiento de los fluidos de trabajo dentro del intercambiador de calor, el diseño de esta interfaz se observa en la figura 114.

Figura 114

Pantalla visualización de gráfica de variaciones de temperatura en función del tiempo



Nota. Esta misma interfaz se aplica para graficar las variaciones de temperaturas en los otros procesos mencionados anteriormente.

Diseño de la interfaz de ayuda

En la pantalla de inicio también es posible visualizar un ícono con el símbolo de interrogación en la parte superior derecha, al presionar ese ícono nos lleva a una nueva ventana en la cual se puede visualizar un código QR como se observa la figura 115, al escanear dicho código el usuario será redirigido a un sitio en donde pueda encontrar toda la información necesaria para la realización de la práctica.

Figura 115

Pantalla visualización código QR para brindar ayuda al usuario



Nota. Para acceder a los archivos de respaldo se deberá escanear el código QR.

Análisis estadístico del sensor de temperatura

El análisis estadístico para el sensor de temperatura se lo emplea con el propósito de validar las medidas y el funcionamiento correcto. Comparar las mediciones reales del sensor HDT-500 con un sensor patrón para ayudar a mejorar la precisión y la confiabilidad de los datos.

Tabla 38

Mediciones de temperatura

| Sensores de temperatura HDT-500 | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Medida | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 17,08 | 17,11 | 17,11 | 17,10 | 17,11 | 17,10 | 17,10 | 17,10 | 17,09 | 17,10 |
| 2 | 17,10 | 17,10 | 17,11 | 17,09 | 17,10 | 17,09 | 17,11 | 17,11 | 17,12 | 17,10 |
| 3 | 17,10 | 17,11 | 17,08 | 17,11 | 17,10 | 17,10 | 17,11 | 17,10 | 17,12 | 17,11 |

| Sensores de temperatura HDT-500 | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Medida | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 4 | 17,11 | 17,10 | 17,11 | 17,10 | 17,10 | 17,09 | 17,09 | 17,11 | 17,11 | 17,10 |
| 5 | 17,10 | 17,10 | 17,10 | 17,09 | 17,11 | 17,09 | 17,08 | 17,10 | 17,09 | 17,11 |
| 6 | 17,10 | 17,11 | 17,11 | 17,09 | 17,09 | 17,10 | 17,10 | 17,11 | 17,11 | 17,10 |
| 7 | 17,11 | 17,10 | 17,10 | 17,08 | 17,12 | 17,10 | 17,10 | 17,09 | 17,10 | 17,11 |
| 8 | 17,09 | 17,09 | 17,11 | 17,10 | 17,10 | 17,10 | 17,10 | 17,10 | 17,10 | 17,10 |
| 9 | 17,09 | 17,09 | 17,09 | 17,09 | 17,10 | 17,09 | 17,10 | 17,10 | 17,12 | 17,11 |
| 10 | 17,09 | 17,10 | 17,11 | 17,12 | 17,09 | 17,10 | 17,09 | 17,12 | 17,10 | 17,10 |

Tabla 39

Resultados de análisis estadístico de sensores de temperatura

| Variable | Valor |
|----------|--------|
| n | 100 |
| Xmin | 17,08 |
| Xmax | 17,12 |
| Rango | 0,04 |
| Media | 17,101 |
| Moda | 17,100 |
| Mediana | 17,100 |

Tabla 40

Distribución de frecuencias

| N° de clase | Intervalos de clase | | Xi | ni | Ni | fi | Fi |
|-------------|---------------------|-----------------|--------|----|----|------|------|
| | Límite inferior | Límite superior | | | | | |
| 1 | 17,08 | 17,0896 | 17,086 | 8 | 8 | 0,08 | 0,08 |
| 2 | 17,0896 | 17,0972 | 17,093 | 21 | 29 | 0,21 | 0,29 |

| N° de clase | Intervalos de clase | | Xi | ni | Ni | fi | Fi |
|----------------|---------------------|-----------------|--------|-----|-----|------|------|
| | Límite inferior | Límite superior | | | | | |
| 3 | 17,0972 | 17,1048 | 17,101 | 40 | 69 | 0,4 | 0,69 |
| 4 | 17,1048 | 17,1124 | 17,109 | 22 | 91 | 0,22 | 0,91 |
| 5 | 17,1124 | 17,1200 | 17,116 | 9 | 100 | 0,09 | 1 |
| | | | | 100 | | | |

Figura 116

Histograma con la distribución de frecuencias del sensor

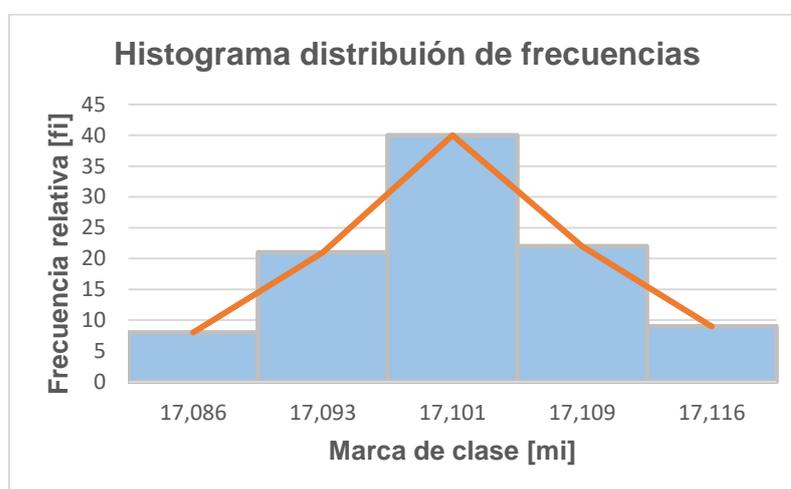
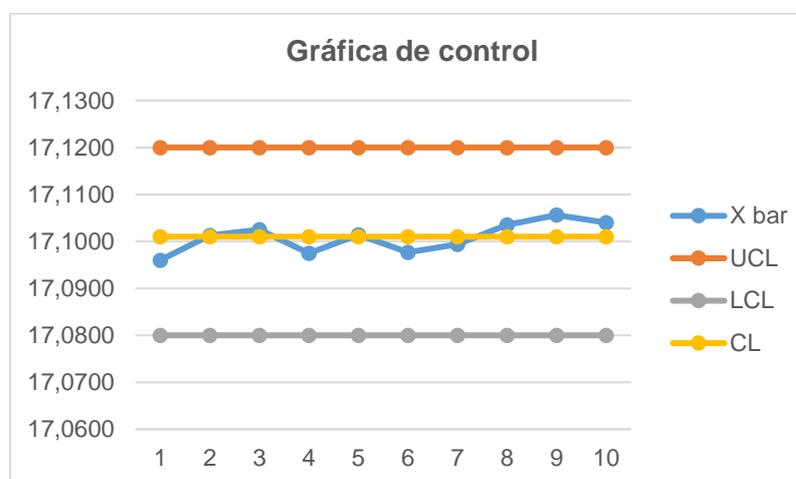


Figura 117

Gráfica de control



Las mediciones fueron comparadas con un sensor de temperatura, por ello en el análisis de la figura 117 no existe mucha variación en las mediciones tomadas, entonces los sensores están bajo control y es evidente que son fiables, ya que están dentro de los límites superior e inferior.

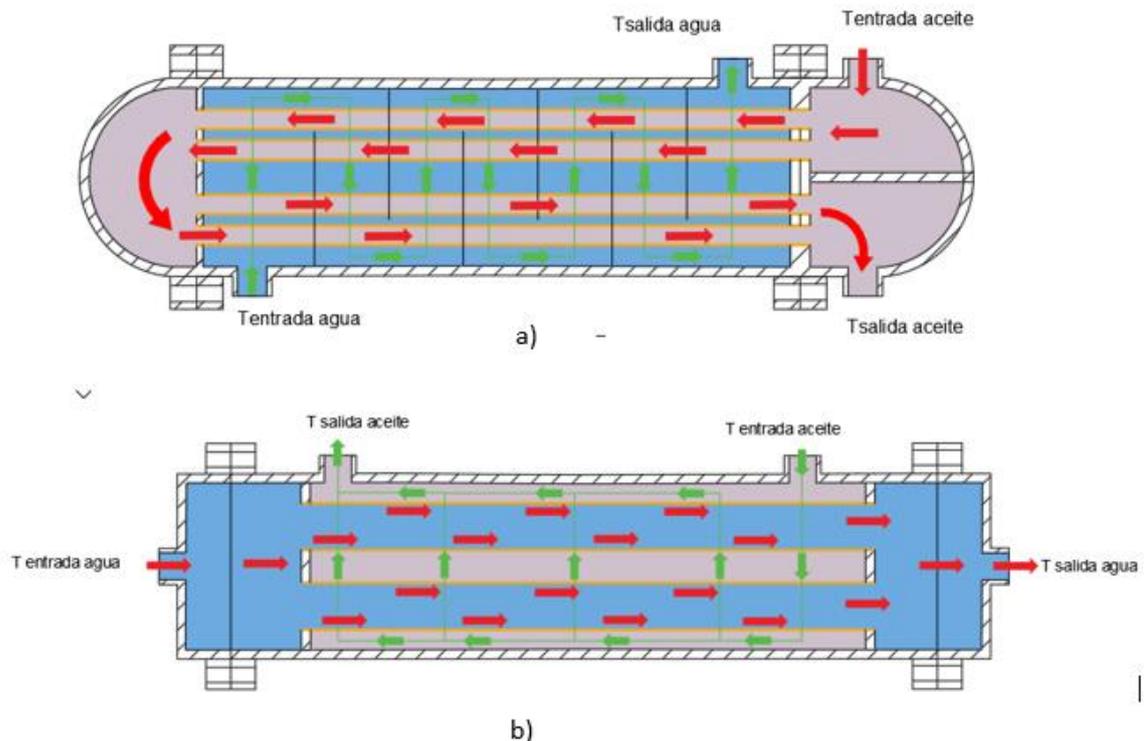
Capítulo VI Pruebas de funcionamiento y puesta a punto

Resultados

Los datos de entrada fueron tomados mediante los sensores de temperatura HDT-500 en las entradas y salidas de los intercambiadores, ya que estos se encuentran conectados como se observa en la figura 116, además en los reservorios de agua y aceite en cada uno se encuentra un sensor de temperatura para conocer las condiciones iniciales de los fluidos, para la medición de caudales se utilizaron Sensores de caudal YF-DN40 1.5 para cada fluido los mismos que son controlados mediante válvulas de globo.

Figura 118

Localización de los sensores HDT-500



Nota. Localización de los sensores en los IC a) IC 1 diseñado en el presente trabajo, b) IC 2 existente en el laboratorio.

Recopilación de datos

Se muestran los datos tomados en el banco de pruebas agua aceite para cada intercambiador, los fluidos deben estar en 5 [°C] el agua y 60 [°C] el aceite.

Tabla 41

Nomenclatura utilizada para la práctica

| Nomenclatura | Descripción |
|--------------|---------------------------------------|
| $T_{i.W}$ | Temperatura de ingreso del agua |
| $T_{i.O}$ | Temperatura de ingreso del aceite |
| $T_{o.W}$ | Temperatura de salida del agua |
| $T_{o.O}$ | Temperatura de salida del aceite |
| $Q.Oil$ | Caudal del aceite |
| $Q.Water$ | Caudal del agua |
| $T_{t.O}$ | Temperatura en el tanque de aceite |
| $T_{t.W}$ | Temperatura en el tanque de agua |
| ΔT_o | Diferencia de temperaturas del aceite |
| ΔT_w | Diferencia de temperaturas del agua |

Tabla 42

Datos de la práctica IC multitubos 1 flujo paralelo

| t (min) | $T_{i.O}$ (°C) | $T_{i.W}$ (°C) | $T_{o.O}$ (°C) | $T_{o.W}$ (°C) | $Q.Oil$ (LPM) | $Q.W$ (LPM) | $T_{t.O}$ (°C) | $T_{t.W}$ (°C) | ΔT_o (°C) | ΔT_w (°C) |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| 6 | 54,83 | 6,5 | 44,3 | 13,85 | 10 | 5 | 58.90 | 6.47 | 10,53 | 7,35 |
| 6 | 48,33 | 6,7 | 38,7 | 13,55 | 10 | 5 | 52.17 | 6.53 | 9,63 | 6,85 |

| <i>t (min)</i> | <i>Ti.O</i> (°C) | <i>Ti.W</i> (°C) | <i>To.O</i> (°C) | <i>To.W</i> (°C) | <i>Q.Oil</i> (LPM) | <i>Q.W</i> (LPM) | <i>Tt.O</i> (°C) | <i>Tt.W</i> (°C) | ΔT_o (°C) | ΔT_w (°C) |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 6 | 43,4 | 6,65 | 34,53 | 13,35 | 10 | 5 | 46.83 | 6.53 | 8,87 | 6,7 |
| 6 | 39,58 | 6,6 | 30,62 | 12,95 | 10 | 10 | 41.17 | 6.57 | 8,96 | 6,35 |
| 6 | 40,4 | 7,03 | 31,45 | 12,65 | 10 | 15 | 41.58 | 6.80 | 8,95 | 5,62 |
| 6 | 40,97 | 7,28 | 31,72 | 13,12 | 10 | 20 | 42.10 | 7.25 | 9,25 | 5,84 |

Tabla 43

Datos de la práctica IC multitubos 1 flujo contracorriente

| <i>t (min)</i> | <i>Ti.O</i> (°C) | <i>Ti.W</i> (°C) | <i>To.O</i> (°C) | <i>To.W</i> (°C) | <i>Q.Oil</i> (LPM) | <i>Q.W</i> (LPM) | <i>Tt.O</i> (°C) | <i>Tt.W</i> (°C) | ΔT_o (°C) | ΔT_w (°C) |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 6 | 64 | 7,85 | 59,22 | 16,17 | 10 | 5 | 68.22 | 7.22 | 4,78 | 8,32 |
| 6 | 55,33 | 8,18 | 51,53 | 15,9 | 10 | 5 | 59.80 | 7.45 | 3,8 | 7,72 |
| 6 | 49,2 | 8,35 | 45,85 | 15,7 | 10 | 5 | 53.42 | 7.62 | 3,35 | 7,35 |
| 6 | 43,12 | 8,65 | 40,97 | 15,5 | 10 | 10 | 46.85 | 7.88 | 2,15 | 6,85 |
| 6 | 38,92 | 9,1 | 37,3 | 15,2 | 10 | 15 | 42.08 | 8.45 | 1,62 | 6,1 |
| 6 | 37,12 | 10,2 | 35,35 | 16,2 | 10 | 20 | 39.35 | 9.32 | 1,77 | 6 |

Tabla 44

Datos de la práctica IC multitubos 2 flujo paralelo

| <i>t (min)</i> | <i>Ti.O</i> (°C) | <i>Ti.W</i> (°C) | <i>To.O</i> (°C) | <i>To.W</i> (°C) | <i>Q.Oil</i> (LPM) | <i>Q.W</i> (LPM) | <i>Tt.O</i> (°C) | <i>Tt.W</i> (°C) | ΔT_o (°C) | ΔT_w (°C) |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 6 | 56,65 | 6,5 | 49,85 | 7,65 | 10 | 5 | 59.33 | 6 | 7,22 | 3,67 |
| 6 | 54,15 | 6,4 | 48,25 | 7,8 | 10 | 5 | 56.65 | 6.12 | 7,32 | 0,2 |
| 6 | 52,1 | 6,8 | 48,9 | 7,95 | 10 | 5 | 54.38 | 6.40 | 7,33 | 3,74 |

| t (min) | $Ti.O$ (°C) | $Ti.W$ (°C) | $To.O$ (°C) | $To.W$ (°C) | $Q.Oil$ (LPM) | $Q.W$ (LPM) | $Tt.O$ (°C) | $Tt.W$ (°C) | ΔTo (°C) | ΔTw (°C) |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|
| 6 | 49,3 | 7,45 | 48,65 | 8,4 | 10 | 10 | 51,22 | 7,03 | 6,82 | 3,98 |
| 6 | 50,1 | 7,8 | 49,2 | 8,65 | 10 | 15 | 50,53 | 7,55 | 6,8 | 4,2 |
| 6 | 51,6 | 8,1 | 48,75 | 9,05 | 10 | 20 | 52,83 | 7,82 | 6,77 | 4,3 |

Tabla 45

Datos de la práctica IC multitubos 2 flujo contracorriente

| t (min) | $Ti.O$ (°C) | $Ti.W$ (°C) | $To.O$ (°C) | $To.W$ (°C) | $Q.Oil$ (LPM) | $Q.W$ (LPM) | $Tt.O$ (°C) | $Tt.W$ (°C) | ΔTo (°C) | ΔTw (°C) |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|
| 6 | 55,8 | 6,47 | 50,25 | 7,81 | 10 | 5 | 58,40 | 5,69 | 5,55 | 1,34 |
| 6 | 54,81 | 6,42 | 46,85 | 7,65 | 10 | 5 | 56,65 | 6,12 | 7,96 | 1,23 |
| 6 | 52,12 | 6,8 | 48,94 | 7,98 | 10 | 5 | 54,38 | 6,40 | 3,18 | 1,18 |
| 6 | 48,8 | 7,55 | 48,75 | 8,5 | 10 | 10 | 49,68 | 5,55 | 0,05 | 0,95 |
| 6 | 50,47 | 7,84 | 48 | 8,65 | 10 | 15 | 52,1 | 6,7 | 2,47 | 0,81 |
| 6 | 52,95 | 8,45 | 47,8 | 9,4 | 10 | 20 | 53,78 | 7,78 | 5,15 | 0,95 |

Memoria de cálculo

Cálculo del calor que desprende el agua

$$Q_w = \dot{m} \cdot c_p \cdot (\Delta T_w)$$

$$Q_w = 0.07233 \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot 4194.8 \left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right] \cdot (8.32^\circ C)$$

$$Q_{agua} = 25.24 \text{ watts}$$

Obtención de las propiedades termo físicas del agua tomadas e interpoladas de la tabla 17

Densidad

$$\mu_w = 999.46 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Viscosidad dinámica

$$\mu_w = 1.239 \times 10^{-3} \text{ [kg/m} \cdot \text{s]}$$

Conductividad

$$k_w = 0.5836 \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Numero de Prandtl

$$Pr_w = 8.90$$

Número de Reynolds

$$Re_w = \frac{4 \cdot \dot{m}_w}{\pi \cdot D_e \cdot v_w}$$

$$Re_w = \frac{4 \cdot (0.07233 \text{ kg/s})}{\pi \cdot 0.03323 \text{ (m)} \cdot 1.239 \times 10^{-3} \text{ [kg/m} \cdot \text{s]}}$$

$$Re_w = 5151.36 \text{ (flujo turbulento)}$$

Cálculo del factor de fricción

$$f_w = (0.790 \cdot \ln(Re_w) - 1.64)^{-2}$$

$$f_w = (0.790 \cdot \ln(2.45 \times 10^4) - 1.64)^{-2}$$

$$f_w = 0.5986$$

Cálculo del número de Nusselt

$$\overline{Nu}_w = \frac{\left(\frac{f_w}{8}\right) \cdot (Re_w - 1000) \cdot Pr_w}{1 + 12.7 \cdot \left(\frac{f_w}{8}\right) \cdot (Pr_w^{2/3} - 1)}$$

$$\overline{Nu}_w = \frac{\left(\frac{0.5986}{8}\right) \cdot (5151.36 - 1000) \cdot Pr_w}{1 + 12.7 \cdot \left(\frac{0.5986}{8}\right) \cdot \left(8.90^{2/3} - 1\right)} = 222.16$$

Cálculo del coeficiente de convección de calor

$$hi_w = \frac{\overline{Nu}_w \cdot k_w}{d_h}$$

$$hi_w = \frac{(222.16) \cdot (0.5836 \text{ W/m}^\circ\text{K})}{0.127 \text{ m}}$$

$$hi_w = 1020.91 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

$$U_{lim} = \frac{1}{\frac{r_o}{r_i \cdot hi_w} + \frac{r_o \cdot \ln(r_o/r_i)}{k_{cu}} + \frac{1}{ho_c}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{0.008 \text{ m}}{(0.0065 \text{ m}) \cdot (1020.91 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}})} + \frac{(0.008 \text{ m}) \cdot \ln(\frac{0.008 \text{ m}}{0.0065 \text{ m}})}{(401 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}})} + \frac{1}{36610.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}}}$$

$$U_{lim} = 809.93 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

Cálculo de la temperatura media logarítmica

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T_{co}$$

$$\Delta T_1 = 64 - 16.17$$

$$\Delta T_1 = 47.83 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci}$$

$$\Delta T_2 = 59.22 - 7.85$$

$$\Delta T_2 = 51.37 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{51.37 - 47.83}{\ln\left(\frac{51.37}{47.83}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 114.15 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta T_{ml} = 387.16 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Cálculo del calor total

$$Q_{total} = U_{glo} \cdot A_s \cdot (\Delta T_{ml})$$

$$Q_{total} = 809.93 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] \cdot 0.3668 \cdot 387.16 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Calor que desprende el aceite, para el caso del aceite se considera y se utiliza las mismas formulas tomasen cuentas si el flujo sale laminar o turbulento.

Cálculo de la eficiencia del intercambiador

$$C_{min} = (\dot{m}Cp)_{agua}$$

$$C_{min} = (0.07232 * 4194.8)_{agua}$$

$$C_{min} = 333.40 \text{ kw/C}$$

$$C_{max} = (\dot{m}Cp)_{aceite}$$

$$C_{max} = (0.166 * 2053.76)_{aceite}$$

$$C_{max} = 342.11 \text{ kw/C}$$

Calor máximo

$$Q_{max} = C_{min} * \Delta T$$

$$Q_{max} = 333.40 \text{ kw/C} * (64 - 7.85)$$

$$Q_{max} = 17036.072 \text{ Kw}$$

La efectividad se calcula a partir de

$$e = \frac{Q_{max}}{Q}$$

$$e = \frac{17036.072}{2524.31} = 0.1482$$

Eficiencia teórica

$$e_T = \frac{Q_{max}}{Q_{total}}$$

$$e_T = \frac{17036.072}{33922.06}$$

$$e_T = 50.22\%$$

Eficiencia practica

$$e_P = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}}$$

$$e_P = \frac{16.17 - 7.85}{64 - 7.85}$$

$$e_P = 14.80\%$$

Resultados de los flujos contracorriente y paralelo en los dos intercambiadores de calor

Tabla 46

Resultados de la práctica IC multitubos 1 flujo paralelo

| Q_{agua} (watts) | Q_{aceite} (watts) | $DMLT$ (°C) | Re_{agua} | Re_{aceite} | f_{agua} | e (%) |
|-----------------------|-------------------------|----------------|-------------|---------------|------------|------------|
| 2236,29 | 3514,93 | 89,12 | 5152,49 | 29285,83 | 0,599 | 15,21 |
| 2091,55 | 3173,42 | 75,30 | 5155,72 | 17688,82 | 0,598 | 16,45 |
| 2052,99 | 2895,42 | 65,06 | 5161,76 | 13692,80 | 0,598 | 18,23 |
| 3903,80 | 2900,77 | 56,49 | 5154,73 | 23150,45 | 0,598 | 36,56 |

| Q_{agua} (watts) | Q_{aceite} (watts) | $DMLT$ (°C) | Re_{agua} | Re_{aceite} | f_{agua} | e (%) |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------|
| 5178,99 | 2902,66 | 58,47 | 5172,21 | 32967,30 | 0,597 | 47,85 |
| 7172,64 | 3002,64 | 58,49 | 5328,88 | 42901,74 | 0,588 | 65,59 |
| 2508,87 | 7769,34 | 106,42 | 4465,01 | 41670,01 | 0,647 | 15,21 |
| Nu_{agua} | Nu_{aceite} | h_{agua} (W/m ² K) | h_{aceite} (W/m ² K) | $U_{interno}$ (W/m ² K) | Q_{max} (W) | Q_{total} (W) |
| 222,21 | 998,86 | 1015,35 | 33043,24 | 803,71 | 14704,76 | 26278,21 |
| 222,30 | 655,41 | 1020,32 | 26482,70 | 802,69 | 12711,13 | 22173,90 |
| 222,50 | 528,06 | 1016,15 | 24611,87 | 797,68 | 11260,82 | 19038,74 |
| 222,28 | 820,98 | 1014,10 | 37168,86 | 804,92 | 10677,15 | 16682,39 |
| 222,83 | 1101,31 | 1017,30 | 49860,67 | 811,89 | 10822,53 | 17415,40 |
| 227,74 | 1361,06 | 1040,63 | 60702,12 | 832,65 | 10936,08 | 17867,81 |
| 200,05 | 1394,31 | 904,18 | 15370,30 | 700,25 | 14704,76 | 27339,02 |

Tabla 47

Resultados de la práctica IC multitubos 1 flujo contracorriente

| Q_{agua} (watts) | Q_{aceite} (watts) | $DMLT$ (°C) | Re_{agua} | Re_{aceite} | f_{agua} | e (%) |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------|
| 2524,31 | 1635,28 | 113,54 | 5151,36 | 123284,31 | 0,599 | 14,82 |
| 2339,76 | 1278,46 | 94,69 | 5155,47 | 28815,45 | 0,598 | 16,37 |
| 2238,83 | 1113,40 | 81,12 | 5160,47 | 18757,89 | 0,598 | 17,99 |
| 4187,43 | 706,51 | 68,49 | 5153,42 | 28378,68 | 0,599 | 36,97 |
| 5611,85 | 527,84 | 59,33 | 5170,88 | 36357,05 | 0,597 | 57,76 |
| 7370,02 | 574,33 | 52,53 | 5326,89 | 45340,51 | 0,588 | 84,37 |
| Nu_{agua} | Nu_{aceite} | h_{agua} (W/m ² K) | h_{aceite} (W/m ² K) | $U_{interno}$ (W/m ² K) | Q_{max} (W) | Q_{total} (W) |

| | | | | | | |
|--------|---------|---------|----------|--------|----------|----------|
| 222,17 | 3325,83 | 1020,91 | 36610,36 | 809,93 | 17036,07 | 33738,27 |
| 222,29 | 985,26 | 1021,62 | 10907,71 | 770,30 | 14290,08 | 26758,63 |
| 222,45 | 688,29 | 1022,39 | 7652,53 | 748,34 | 12443,04 | 22271,20 |
| 222,23 | 972,91 | 1021,21 | 10855,19 | 769,75 | 11327,12 | 19340,81 |
| 222,78 | 1194,85 | 1024,07 | 13369,09 | 782,20 | 9716,19 | 17026,64 |
| 227,66 | 1425,22 | 1049,94 | 15935,52 | 808,55 | 8734,99 | 15583,44 |

Tabla 48

Resultados de la práctica IC multitubos 2 flujo paralelo

| Q_{agua} (watts) | Q_{aceite} (watts) | $DMLT$ (°C) | Re_{agua} | Re_{aceite} | f_{agua} | e (%) |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------|
| 349,44 | 2287,76 | 106,06 | 11674,41 | 5973,61 | 0,404 | 2,29 |
| 426,01 | 1976,61 | 101,31 | 11683,38 | 5362,50 | 0,404 | 2,93 |
| 125,01 | 1070,50 | 99,21 | 11778,81 | 5182,28 | 0,403 | 2,54 |
| 578,80 | 216,75 | 94,51 | 11976,14 | 9658,68 | 0,400 | 4,15 |
| 776,32 | 300,54 | 95,37 | 12086,03 | 14937,61 | 0,398 | 5,50 |
| 1157,56 | 952,72 | 95,72 | 12216,67 | 20457,23 | 0,396 | 7,96 |
| Nu_{agua} | Nu_{aceite} | h_{agua} (W/m ² K) | h_{aceite} (W/m ² K) | $U_{interno}$ (W/m ² K) | Q_{max} (W) | Q_{total} (W) |
| 478,16 | 264,19 | 2163,77 | 2933,17 | 645,41 | 15238,605 | 17743,20 |
| 478,37 | 238,73 | 2162,84 | 2663,66 | 631,17 | 14529,89 | 16575,09 |
| 480,77 | 230,66 | 2177,46 | 2577,23 | 629,03 | 4924,20 | 16176,84 |
| 485,61 | 403,46 | 2203,20 | 4517,45 | 708,88 | 13955,66 | 17365,71 |
| 488,22 | 584,54 | 2217,38 | 6544,99 | 748,85 | 14125,29 | 18512,02 |
| 491,37 | 759,45 | 2233,97 | 8531,54 | 773,96 | 14541,56 | 19203,14 |

Tabla 49

Resultados de la práctica IC multitubos 2 flujo contracorriente

| Q_{agua} (watts) | Q_{aceite} (watts) | $DMLT$ (°C) | Re_{agua} | Re_{aceite} | f_{agua} | e (%) |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------|
| 407,22 | 1866,35 | 105,46 | 11700,54 | 5899,51 | 0,404 | 2,72 |
| 374,47 | 2662,89 | 100,47 | 11660,57 | 5182,31 | 0,404 | 2,54 |
| 359,18 | 1063,83 | 99,25 | 11784,61 | 5184,52 | 0,402 | 2,60 |
| 578,85 | 16,67 | 93,83 | 12012,26 | 9573,47 | 0,399 | 4,21 |
| 740,08 | 823,83 | 94,33 | 12086,03 | 14552,87 | 0,398 | 5,21 |
| 1155,83 | 1722,27 | 95,27 | 12370,26 | 20604,43 | 0,394 | 7,77 |
| Nu_{agua} | Nu_{aceite} | h_{agua} (W/m ² K) | h_{aceite} (W/m ² K) | $U_{interno}$ (W/m ² K) | Q_{max} (W) | Q_{total} (W) |
| 478,84 | 261,02 | 2164,19 | 2904,16 | 644,09 | 14991,19 | 17605,92 |
| 477,85 | 231,22 | 2162,00 | 2583,51 | 626,41 | 14732,34 | 16313,27 |
| 480,90 | 230,72 | 2178,44 | 2576,13 | 629,15 | 13794,96 | 16185,62 |
| 486,44 | 400,02 | 2207,74 | 4478,96 | 709,01 | 13749,84 | 17243,26 |
| 488,22 | 571,77 | 2217,38 | 6397,54 | 746,88 | 14218,53 | 18262,41 |
| 495,05 | 761,51 | 2253,47 | 8508,58 | 779,18 | 14881,75 | 19241,46 |

Tabla 50

Parámetros para comparación de efectividades

| Parámetro | Valor |
|---|-----------------|
| Temperatura de entrada del aceite en el tanque | 65 [°C] |
| Temperatura de salida del aceite a la salida del intercambiador | 39.5 ± 8.5 [°C] |

| Parámetro | Valor |
|---|-----------------------|
| Caudal lado del aceite | 0.17 [kg/s] |
| Temperatura de entrada del agua en el tanque | 3.5 [°C] |
| Temperatura de salida del agua a la salida del intercambiador | 8 ± 4.5 [°C] |
| Caudal lado del agua | 0.3 [kg/s] |
| FC | Flujo contracorriente |
| FP | Flujo paralelo |

Comparación de la efectividad entre intercambiadores de calor

Tabla 51

Comparación de las eficiencias entre los intercambiadores de calor

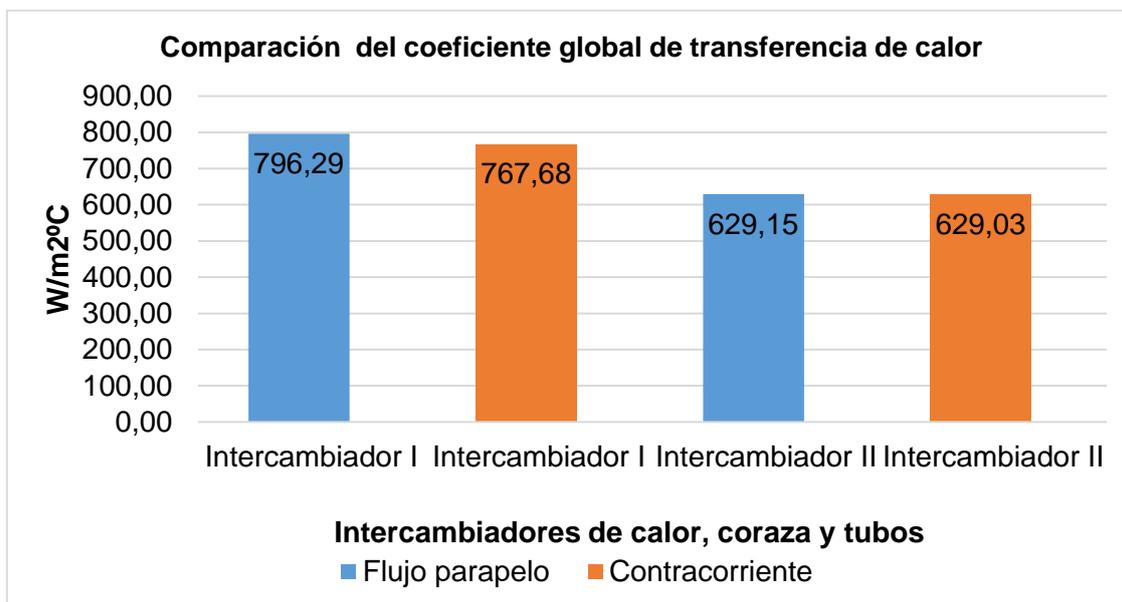
| Denominación | Eficiencia teórica (%) | | Eficiencia práctica (%) | | Eficiencia simulación (%) | | Eficiencia de diseño (%) | | Eficiencia del sistema (%) | |
|-----------------------------------|------------------------|-------|-------------------------|-------|---------------------------|-------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|
| | FC | FP | FC | FP | FC | FP | FC | FP | FC | FP |
| Intercambiador de 4 tubos | 23,7 | 22,14 | 7,96 | 7,77 | 15,36 | 12,47 | 2,85 | 1,01 | 33,25 | 14,25 |
| intercambiador de 18 tubos | 62,14 | 55,37 | 55,17 | 37,85 | 67,48 | 61,74 | 59,45 | 55,78 | 22,32 | 16,38 |

Se puede verificar que en ambos intercambiadores al momento que están conectados en flujo contracorriente obtienen mayor efectividad, ya que en dicha disposición los fluidos fluyen perpendicularmente y eso evita que exista recirculación, la mayor eficiencia se produce en el intercambiador de 18 tubos en FC con un valor de 62.14 esto nos indica que el calor pasa de un fluido a otro comparando con una transferencia de calor que fuese perfecta.

Comparación del coeficiente global de transferencia de calor en los intercambiadores

Figura 119

Comparación del coeficiente global de transferencia de calor, con flujo de agua a 5 LPM y aceite a 10 LPM.



Nota. Se muestra la comparación experimental de los coeficientes globales de transferencia de calor entre los dos intercambiadores para flujo contracorriente y paralelo.

Figura 120

Comparación del coeficiente global de transferencia de calor, con flujo de agua a 10 LPM y aceite a 10 LPM.

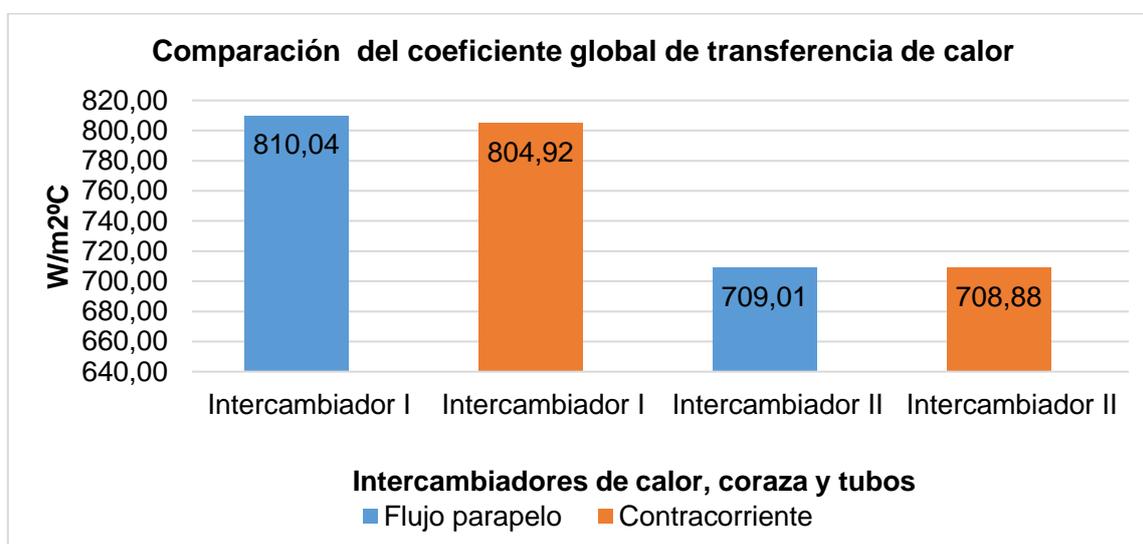
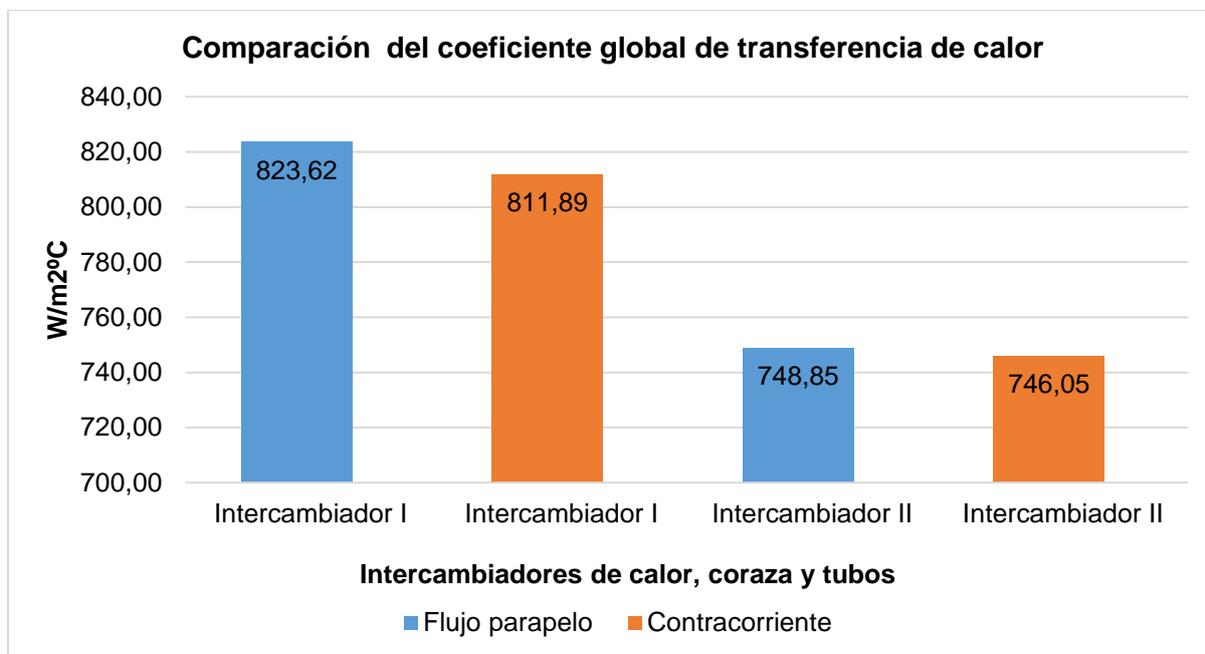
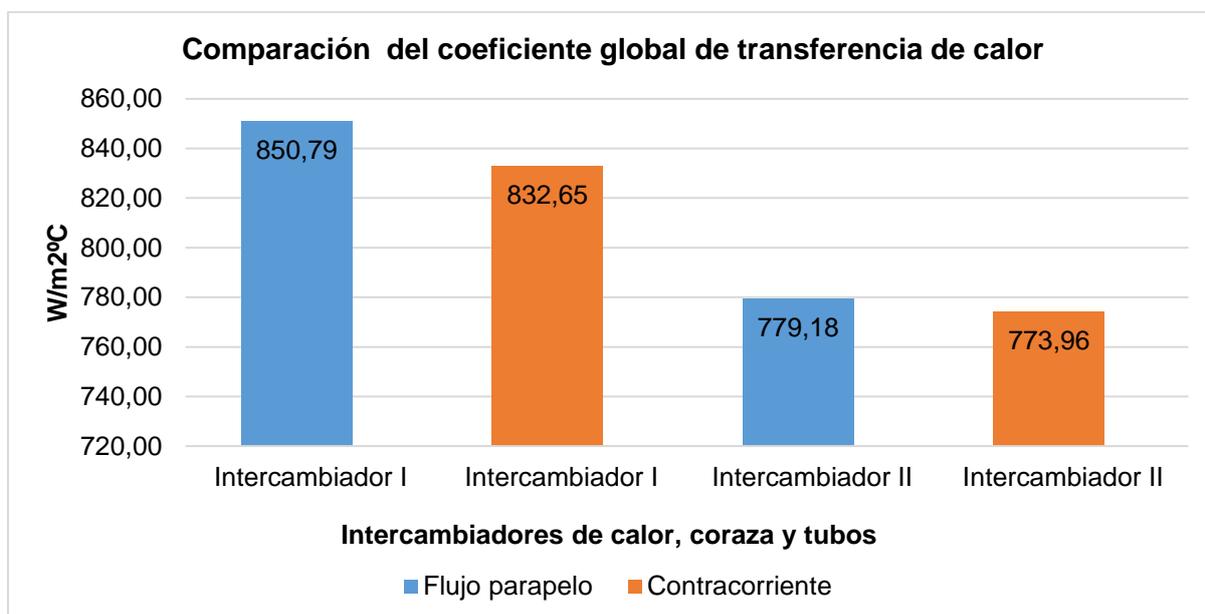


Figura 121

Comparación del coeficiente global de transferencia de calor, con flujo de agua a 15 LPM y aceite a 10 LPM.

**Figura 122**

Comparación del coeficiente global de transferencia de calor, con flujo de agua a 20LPM y aceite a 10 LPM.



Al analizar las figuras 119,120,121,122 se puede observar cómo va creciendo el coeficiente global de transferencia de calor en cada caso de los dos intercambiadores cuando el flujo de agua es 20LPM, el coeficiente máximo es de $(850.7/m^2K)$, todos los coeficientes analizados están en el rango de coeficientes para distintas aplicaciones como en este caso es agua- aceite puede variar entre $(200 - 1000) (W/m^2K)$, como se muestra en la figura 123.

Figura 123

Tabla de coeficientes totales globales de transferencia de calor par varias aplicaciones

TABLA 8.1 Coeficientes globales de transferencia de calor para varias aplicaciones ($W/m^2 K$)^a (multiplique los valores en la tabla por 0.176 para obtener unidades de Btu/h ft²°F).

| Flujo de calor → a: ↓ de: | Gas (inmóvil) $\bar{h}_c = 5 - 15$ | Gas (fluyendo) $\bar{h}_c = 10 - 100$ | Líquido (inmóvil) $\bar{h}_c = 50 - 1000$ | Líquido (fluyendo) Agua $\bar{h}_c = 1000 - 3000$ Otros líquidos $\bar{h}_c = 500 - 2000$ | Líquido en ebullición Agua $\bar{h}_c = 3500 - 60000$ Otros líquidos $\bar{h}_c = 1000 - 20000$ |
|---|---|---|--|---|---|
| Gas (convección natural) $\bar{h}_c = 5 - 15$ | Aire en hab./ exterior a través de cristal $U = 1 - 2$ | Sobrecalentadores $U = 3 - 10$ | | Cámara de combustión $U = 10 - 40$ + radiación | Caldera de vapor $U = 10 - 40$ + radiación |
| Gas (fluyendo) $\bar{h}_c = 10 - 100$ | | Intercambiadores de calor para gases $U = 10 - 30$ | Caldera de gas $U = 10 - 50$ | | |
| Líquido (convección natural) $\bar{h}_c = 50 - 10000$ | | | Baño de aceite para calentamiento $U = 25 - 500$ | Serpentín de enfriamiento $U = 500 - 1500$ con agitación | |
| Líquido (fluyendo) agua $\bar{h}_c = 3000 - 10000$ otros líquidos $\bar{h}_c = 500 - 3000$ | Calefacción central por radiador $U = 5 - 15$ | Enfriadores de gas $U = 10 - 50$ | Serpentín de calentamiento en un recipiente agua/agua sin agitación $U = 50 - 250$, con agitación $U = 500 - 2000$ | Intercambiador de calor agua/agua $U = 900 - 2500$ agua/otros líquidos $U = 200 - 1000$ | Evaporadores de refrigeradores $U = 300 - 1000$ |
| Vapor condensándose agua $\bar{h}_c = 5000 - 30000$ otros líquidos $\bar{h}_c = 1000 - 4000$ | Radiadores de vapor $U = 5 - 20$ | Calentadores de aire $U = 10 - 50$ | Camisas de vapor alrededor de recipientes, agua $U = 300 - 1000$ otros líquidos $U = 150 - 500$ | Condensadores vapor/agua $U = 1000 - 4000$ otro vapor/agua $U = 300 - 1000$ | Evaporadores vapor/agua $U = 1500 - 6000$ vapor/otros líquidos $U = 300 - 2000$ |

Nota. Rango del coeficiente global de transferencia de calor, tomada de (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012)

Comparación del coeficiente de convección para el agua

Figura 124

Comparación del coeficiente de convección, con flujo de agua a 5 LPM y aceite a 10 LPM.

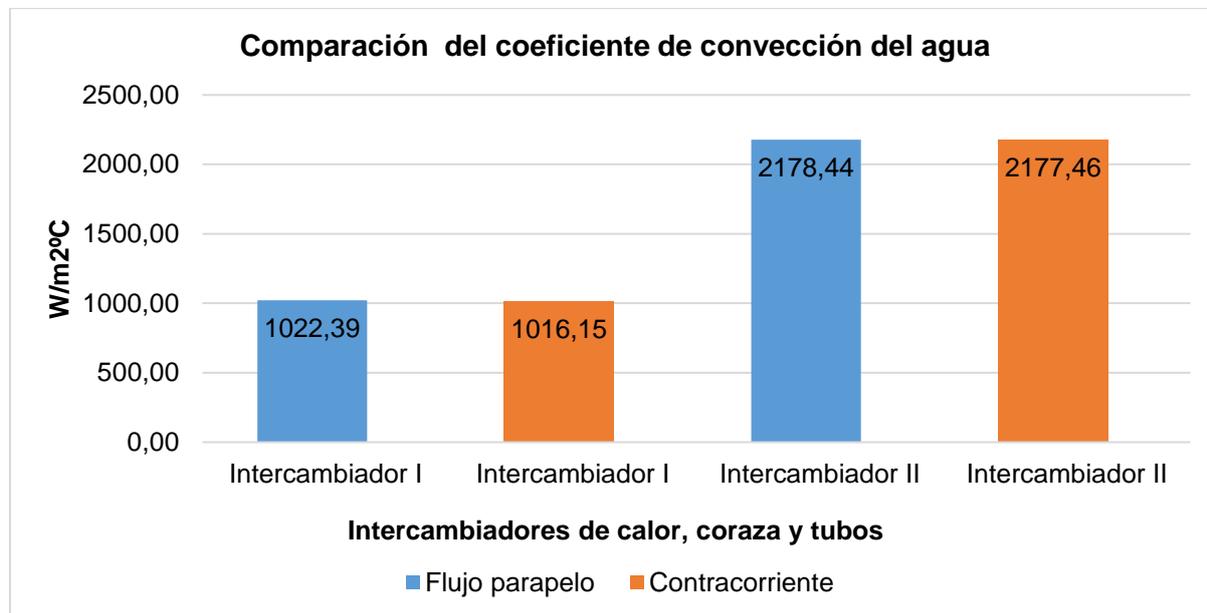


Figura 125

Comparación del coeficiente de convección, con flujo de agua a 10 LPM y aceite a 10 LPM.

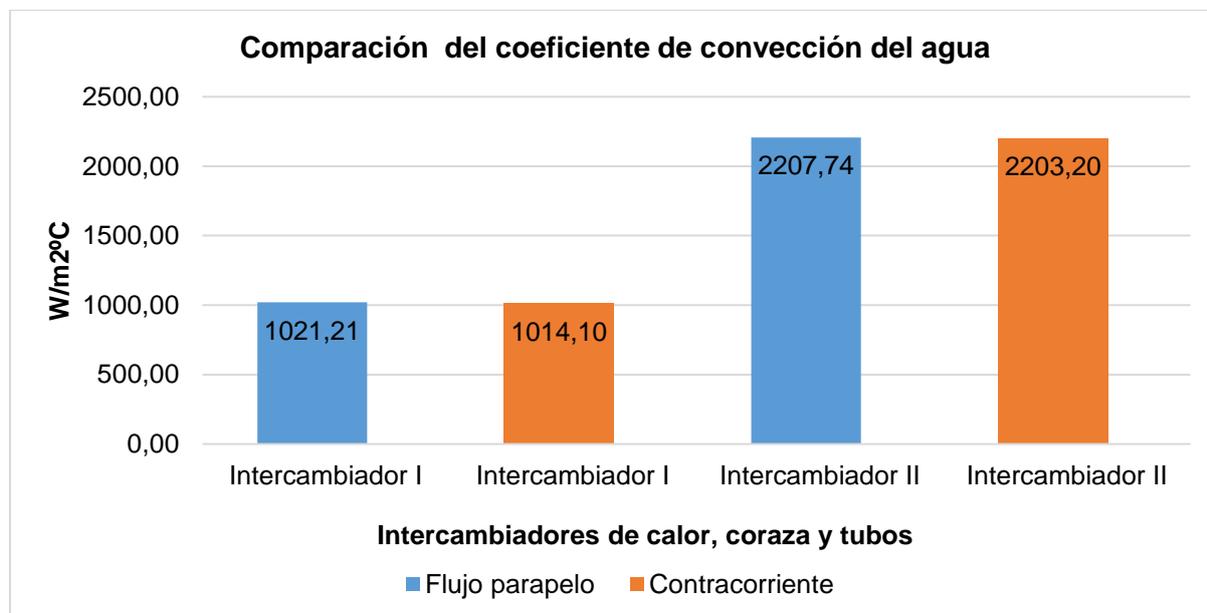


Figura 126

Comparación del coeficiente de convección, con flujo de agua a 15 LPM y aceite a 10 LPM.

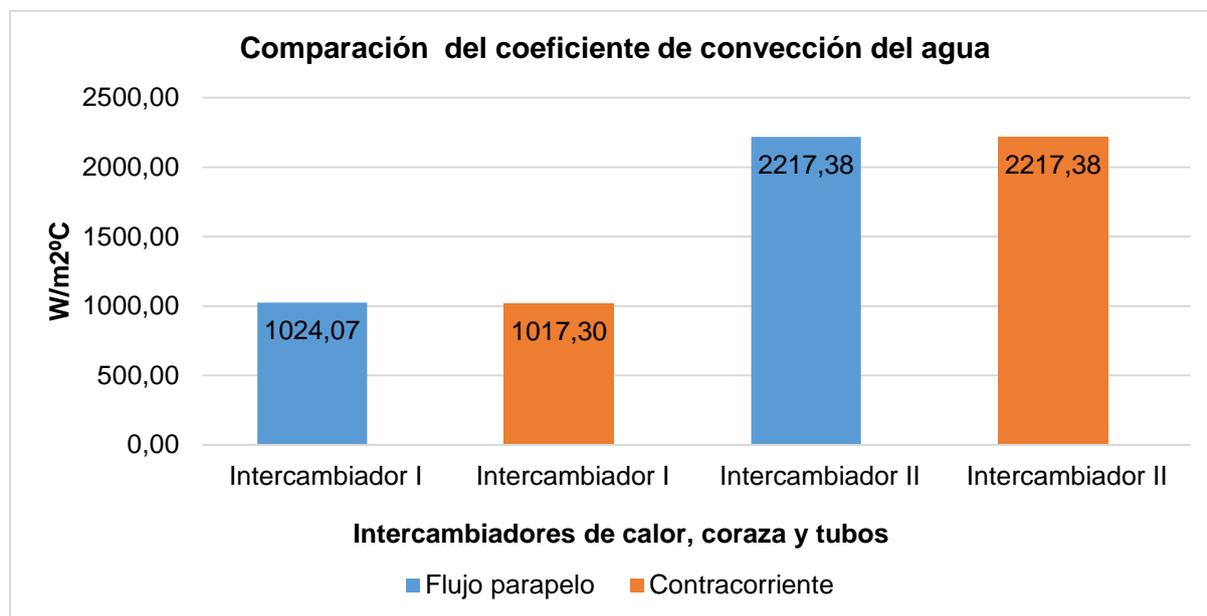
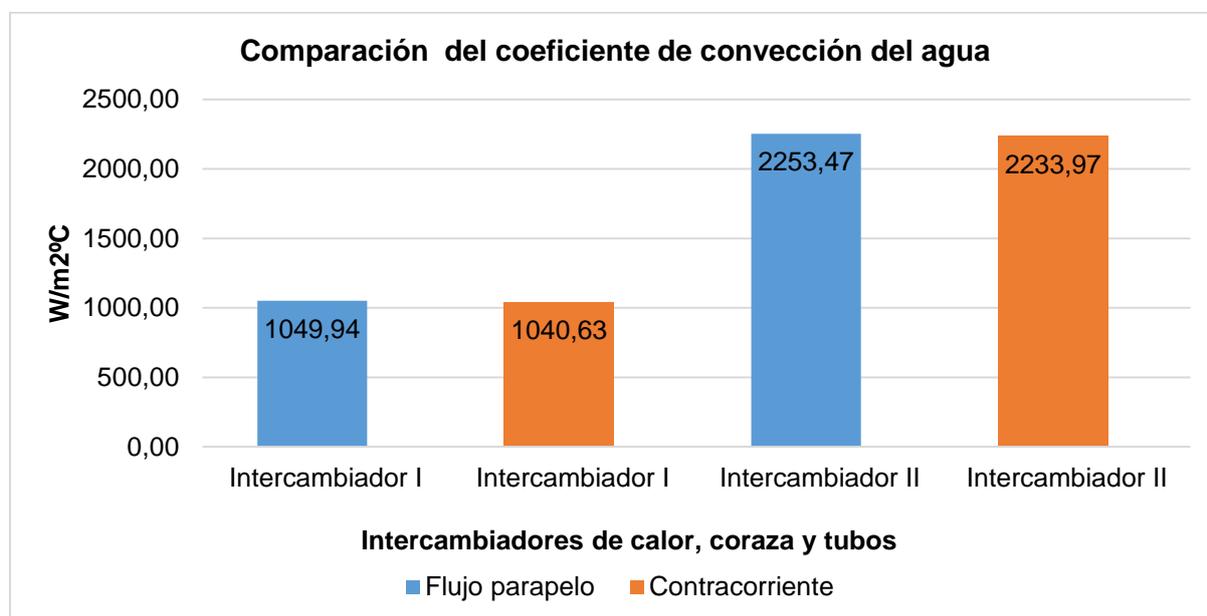


Figura 127

Comparación del coeficiente de convección, con flujo de agua a 20 LPM y aceite a 10 LPM.



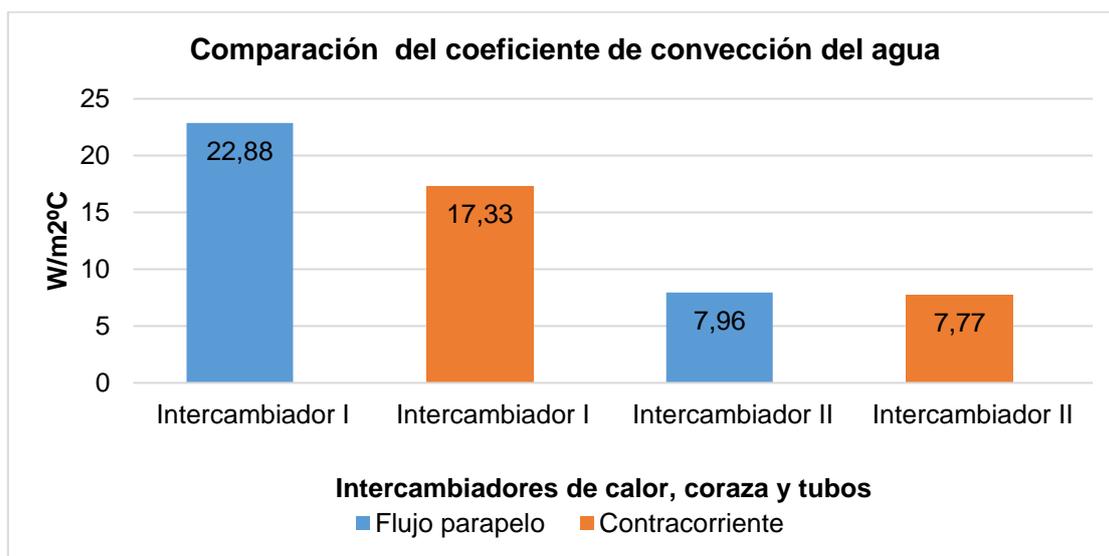
Al analizar las figuras 124,125,126,127 se puede observar cómo va variando el coeficiente de convección (h), en cada caso de los dos intercambiadores cuando el flujo de agua es 20LPM, el coeficiente máximo es de $(2353.57/m^2K)$, todos los coeficientes analizados están

en el rango de coeficientes para distintas aplicaciones como en este caso es agua-aceite puede variar entre (500 - 3000) (W/m^2K), como se muestra en la figura 121.

Efectividad de los intercambiadores de calor en la practica

Figura 128

Comparación de la efectividad de los intercambiadores de calor de coraza y tubos.



Nota. Se observa que el intercambiador I de 18 tubos cuando está conectado a flujo contracorriente tiene mejor efectividad que el resto de intercambiadores de calor.

Al realizar la practica en el banco de pruebas agua – aceite, con los intercambiadores I y II se ha obtenido las temperaturas de entrada y salida de cada uno a diferentes flujos, con ayuda de las fórmulas y coeficientes se obtuvo las eficiencias mediante los métodos de: calor máximo, NTU y formula de la efectividad con ello en la práctica se obtiene que el intercambiador constituido por 18 tubos obtiene una efectividad del 22.88 % en la prueba de funcionamiento al momento que se encuentra conectado para flujo contracorriente, además se puede verificar que el intercambiador de 4 tubos existente en el laboratorio tiene una efectividad baja ya que este estaba construido con materiales de baja calidad y este no cuenta con separadores en su interior, además los coeficientes de convección son altos lo que impide que la conducción el calor sea buena.

Capítulo VII Análisis financiero

La elaboración del presente proyecto implica una inversión significativa, y realizar un análisis financiero sólido es esencial para evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto, para ello en el análisis se detallarán los costos directos e indirectos necesarios para el análisis.

Costos directos

Los costos directos implican con la identificación y cuantificación de todos los gastos directamente relacionados con la construcción, mantenimiento, implementación del sistema de adquisición de datos y puesta en marcha de los componentes que forman parte del banco de pruebas.

Remuneración al personal profesional

A través del personal de docencia de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” se realizaron consultorías y asesoramiento técnico para la realización del presente proyecto, cuyos costos se especifican en la tabla 52.

Tabla 52

Remuneración al personal de docencia de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”

| Nro. | Nombre | Cargo | Tiempo [h] | Valor [h/USD] | Costo total [USD] |
|--------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | Ing. Ángelo Villavicencio | Tutor | 40 | 10.00 | 400.00 |
| 2 | Ing. Roberto Buenaño | Laboratorista | 60 | 10.00 | 600.00 |
| 3 | Ing. José Guasumba | Asesoría | 15 | 10.00 | 150.00 |
| Total [USD] | | | | | 1150.00 |

Nota. Costos por asesoramiento de los docentes para la elaboración del presente proyecto.

Remuneración al personal no profesional

Para la elaboración del proyecto fue necesario un asesoramiento del personal técnico, de los cuales prestaron sus servicios según su especialidad y experiencia, estos costos se especifican en la tabla 53.

Tabla 53

Remuneración al personal no profesional

| Nro. | Cargo | Tiempo [h] | Valor [h/USD] | Costo total [USD] |
|--------------------|---|-----------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | Técnico en mecánica | 30 | 8.00 | 240.00 |
| 2 | Técnico en soldadura | 3 | 10.00 | 30.00 |
| 3 | Técnico en mecanizados (torno y fresa) | 4 | 40.00 | 80.00 |
| Total [USD] | | | | 350.00 |

Nota. Costos al personal técnico para la elaboración del proyecto.

Remuneración de estudiantes

Como desarrolladores del proyecto, se debe reconocer nuestro trabajo y por ello en la tabla 54 se especifican los costos por nuestro trabajo.

Tabla 54

Remuneración por estudiantes

| Nro. | Nombre | Cargo | Tiempo [h] | Valor [h/USD] | Costo total [USD] |
|--------------------|-------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1 | Sr. Erick Eras | Estudiante | 300 | 3.00 | 900.00 |
| 2 | Sr. David Heredia | Estudiante | 300 | 3.00 | 900.00 |
| Total [USD] | | | | | 1800.00 |

Nota. Costos del trabajo de los estudiantes.

Costo de instrumentación

Para los costos de la instrumentación (sistema de adquisición de datos) se adquirieron varios componentes, los cuales se detallan en la tabla 55.

Tabla 55

Costos de los componentes para la instrumentación

| Nro. | Descripción | Cant | Costo Unitario | Costo Total |
|--------------|-----------------------------------|-------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | Transmisor de temperatura HDT-500 | 10 | 41.30 | 413.00 |
| 2 | Transductor de corriente alterna | 3 | 43.00 | 129.00 |
| 3 | Sensor de caudal YF-DN40 1.5 | 2 | 92.50 | 185.00 |
| 4 | PLC DVP20SX2 | 1 | 90.00 | 90.00 |
| 5 | Módulo de expansión | 1 | 80.00 | 80.00 |
| 6 | Fuente de alimentación | 1 | 44.00 | 44.00 |
| 7 | HMI Touch Screen | 1 | 90.00 | 90.00 |
| Total | | | | 1031.00 |

Nota. Costos de los componentes empleados para la instrumentación del proyecto.

Costo de materiales

En la tabla 56 se especifican todos los materiales relacionados con la construcción, mantenimiento, implementación del sistema de adquisición de datos y puesta en marcha del banco de pruebas.

Tabla 56

Costos de materiales

| Nro. | Descripción | Cant | Costo Unitario | Costo Total |
|-------------|-----------------------------|-------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | Caja eléctrica | 1 | 120.00 | 120.00 |
| 2 | Supresor 2P clase III | 1 | 22.00 | 22.00 |
| 3 | Selector 2P metálico | 4 | 1.40 | 5.60 |
| 4 | Luz piloto color verde | 6 | 0.80 | 4.80 |
| 5 | Pulsador hongo ret metálico | 1 | 2.10 | 2.10 |
| 6 | Repartidor de carga 2P | 1 | 10.75 | 10.75 |
| 7 | Barra tierra | 1 | 2.15 | 2.15 |
| 8 | Bornera 12AWG 20 A | 100 | 0.21 | 21.00 |
| 9 | Bornera tierra 12AWG 20A | 20 | 0.75 | 15.00 |
| 10 | Puntera amarilla #18AWG | 3 | 0.80 | 2.40 |
| 11 | Terminal ojo amarillo | 1 | 10.15 | 10.15 |
| 12 | Prensa estopa | 2 | 0.25 | 0.50 |
| 13 | Riel DIN 35 mm x 1mm | 5 | 1.36 | 6.80 |
| 14 | Canaleta ranurada 35 x35 2m | 4 | 3.50 | 14.00 |
| 15 | Breaker 63 A | 1 | 6.00 | 6.00 |
| 16 | Breaker 16 A | 3 | 3.50 | 10.50 |
| 17 | Breaker 10 A | 4 | 3.05 | 12.20 |
| 18 | Breaker 6 A | 1 | 4.00 | 4.00 |
| 19 | Contactador 12 A | 2 | 6.80 | 13.60 |
| 20 | Contactador 9 A | 3 | 6.40 | 19.20 |
| 21 | Relé térmico 13 A | 2 | 7.60 | 15.20 |
| 22 | Relé térmico 8 A | 3 | 20.70 | 6.90 |
| 23 | Tope de bornera | 25 | 0.15 | 3.75 |

| Nro. | Descripción | Cant | Costo Unitario | Costo Total |
|--------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|--------------------|
| 24 | Contacto NA | 6 | 0.47 | 2.82 |
| 25 | Contacto NC | 6 | 0.47 | 2.82 |
| 26 | Etiqueta paro de emergencia | 1 | 0.45 | 0.45 |
| 27 | Espiral 12 mm x 10 mm | 1 | 2.65 | 2.65 |
| 28 | Base adhesiva 20x20 cm x 100 | 1 | 1.80 | 1.80 |
| 29 | Tapa final para JXB | 10 | 0.25 | 2.50 |
| 30 | Interruptor levas | 1 | 22.90 | 22.90 |
| 31 | Cables eléctricos [m] | 20 | 0.60 | 12.00 |
| 32 | Electrodos E6011 [kg] | 1 | 3.80 | 3.80 |
| 33 | Thinner [lt] | 2 | 2.00 | 4.00 |
| 34 | Pintura amarillo Caterpillar [lt] | 1 | 6.00 | 6.00 |
| 35 | Silicona | 2 | 2.00 | 4.00 |
| 36 | Agua destilada [lt] | 100 | 1.00 | 100.00 |
| 37 | Unión 3/4" inoxidable | 2 | 1.65 | 3.30 |
| 38 | Neplo 3/4 inoxidable | 2 | 1.50 | 3.00 |
| 39 | Varilla plata 5% | 1 | 1.60 | 1.60 |
| Total | | | | 502.24 |

Nota. Costos de los materiales empleados para la elaboración del proyecto.

Costo del nuevo intercambiador de calor

Para la construcción del nuevo intercambiador de calor se emplearon los componentes detallados en la tabla 57.

Tabla 57

Costos de la construcción del nuevo intercambiador de calor

| Nro. | Descripción | Cant | Costo | Costo Total |
|--------------|--|-------------|-----------------|--------------------|
| | | | Unitario | |
| 1 | Tubería de cobre tipo K 1/2" 6 [m] | 3 | 23.70 | 71.10 |
| 2 | Brida A/C deslizable ANSI B 16.36 RF 150 SCH 40, 5" | 8 | 13.50 | 108.00 |
| 3 | Empaque bimetalico para brida 5" | 2 | 14.40 | 28.80 |
| 4 | Unión hembra Acero 3/4" | 6 | 8.00 | 48.00 |
| 5 | Tubo ASTM 53 GR B, 5" | 1 | 120.00 | 120.00 |
| 6 | Placa ASTM 53 GR B, 5" | 2 | 10.75 | 21.50 |
| 7 | Baffles 5" cobre | 6 | 6.00 | 36.00 |
| 8 | Cabezal semi elíptico | 2 | 14.00 | 28.00 |
| 9 | Pintura anticorrosiva gris [lt] | 1 | 9.90 | 9.90 |
| 10 | Pernos M18 con tuerca Acero | 32 | 2.75 | 88.00 |
| 11 | Arandelas de presión M18 | 32 | 0.45 | 14.40 |
| 12 | Acople Universal A075, 3/4" | 6 | .075 | 4.50 |
| 13 | Neplos A304, 3/4"X2" | 8 | 0.65 | 5.20 |
| Total | | | | 583.40 |

Nota. Costos de los componentes empleados en la construcción del nuevo intercambiador de calor.

Costos indirectos

Los costos indirectos especificados en la tabla 58 implican con la identificación y cuantificación de los gastos que no están directamente asociados con el desarrollo del proyecto, pero contribuyen al funcionamiento general del proyecto y de la organización.

Tabla 58*Costos indirectos*

| Nro. | Descripción | Cant | Costo [USD] |
|--------------|--------------------|-------------|--------------------|
| 1 | Servicios básicos | 2 | 60.00 |
| 2 | Transporte | 2 | 60.00 |
| 3 | Alimentación | 2 | 20.00 |
| Total | | | 140.00 |

Nota. Costos de los servicios que contribuyeron en la elaboración del proyecto.

Costo total del proyecto

En la tabla 59 se muestra el resumen de los costos directos y en la tabla 60 el cálculo del costo total de la elaboración del presente proyecto.

Tabla 59*Resumen costos directos*

| Nro. | Descripción | Costo total [USD] |
|--------------|---|--------------------------|
| 1 | Remuneración al personal profesional | 1150.00 |
| 2 | Remuneración al personal no profesional | 350.00 |
| 3 | Remuneración de estudiantes | 1800.00 |
| 4 | Costo de instrumentación | 1031.00 |
| 5 | Costo de materiales | 502.24 |
| 6 | Costo del nuevo intercambiador de calor | 583.40 |
| Total | | 5416.64 |

Tabla 60*Costo total de la elaboración del proyecto*

| Nro. | Descripción | Costo total [USD] |
|-------------|--------------------|--------------------------|
| 1 | Costos directos | 5416.64 |

| Nro. | Descripción | Costo total [USD] |
|--------------|--------------------|--------------------------|
| 2 | Costos indirectos | 140.00 |
| Total | | 5556.64 |

Nota. Costo total de todo lo necesario para la elaboración del presente proyecto de titulación.

La inversión total para la elaboración del proyecto es de \$ 5556.64, de los cuales los gastos aportados por los estudiantes fueron de la instrumentación, el mantenimiento, materiales y asesoría externa con un valor de \$ 2606.64, el resto fue aportado por los docentes de la universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” y los estudiantes por su esfuerzo y dedicación durante el desarrollo del proyecto.

Capítulo VIII Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Los bancos de pruebas para intercambiadores de calor son herramientas esenciales que permiten la interacción al estudiante con el fenómeno transferencia de calor, conocer cómo y en donde se puede presentar, que función cumple en la industria y él porque es importante estudiarlo.

El propósito de diseñar y construir un nuevo intercambiador de calor es para determinar que estos dispositivos cumplan con especificaciones de rendimiento y eficiencia en aplicaciones del mundo real, ya que son útiles para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de transferencia de calor y sistemas de intercambio térmico.

Según los resultados obtenidos en la simulación y el diseño del intercambiador de calor, al momento de realizar las pruebas se pudo evidenciar que las efectividades en la práctica son bajas comparadas a las de la simulación y a las teóricas esto depende por los factores de presión, y el ambiente donde se encuentre el intercambiador de calor, además con el paso de los días se forman incrustaciones lo que hace que los materiales del

intercambiador sufran cambios no tan significativos pero son importantes al momento de realizar las practicas.

En la práctica con el intercambiador diseñado se obtuvo un coeficiente de transferencia global de calor de $(850.7/m^2K)$, dicho valor se obtuvo con un flujo masico de agua correspondiente a 0.30 kg/s y del aceite a 0.17kg/s. con una efectividad de 0.5776 lo que se aproxima bastante al valor obtenido en el diseño, además se realizó un balance de energía del sistema y se obtiene una eficiencia del 22.28%, lo que nos indica que el banco de pruebas pierde calor por las tuberías, tanques. Esto se da las condiciones ambientales donde está ubicado el equipo.

Con la implementación del nuevo sistema de adquisición de datos se permitieron obtener resultados más precisos y confiables en tiempo real a comparación del antiguo sistema, ya que dichos resultados se almacenan en la interfaz HMI para su visualización y análisis, además de ver como varia la temperatura del intercambiador en el paso del tiempo.

Una vez realizado el mantenimiento preventivo y correctivo al equipo, se pudieron identificar y corregir problemas potenciales antes de llegar a convertirse en fallas graves a lo largo su funcionamiento. Esto ayudo a prolongar la vida útil tanto del equipo como sus componentes, lo que resulto en un mejor retorno a su utilización en el laboratorio.

Recomendaciones

Para un correcto diseño y construcción del intercambiador de calor, se recomienda buscar asesorías a través del personal profesional, ya que ellos por medio de su experiencia laboral y enseñanza pueden brindar las grandes ideas para realizar la investigación.

Para una mejor recopilación de datos se debe considerar todas las pérdidas que existen en el balance de energías en los reservorios del banco de pruebas para de esta manera garantizar que los datos se más confiables y poder realizar un modelamiento matemático con más eficacia.

Se recomienda investigar las fases y procesos que requieren para realizar el mantenimiento adecuado al equipo y sus componentes, de tal manera que el funcionamiento sea mejorado tanto es su eficiencia y productividad.

Para el diseño e implementación del sistema de adquisición de datos se recomienda realizar los respectivos cálculos para determinar los elementos eléctricos que se necesitaran para las conexiones además del tipo de cable y la fuente de alimentación que abastecerá a los mismos.

Antes de comenzar con el diseño del sistema de adquisición de datos, es crucial comprender los requisitos del banco de pruebas y los datos que se necesitan adquirir. Esto incluye la cantidad de sensores requeridos, tipos de señales (analógicas, digitales), frecuencia de muestreo, resolución necesaria, etc.

Se recomienda elegir los sensores adecuados para medir variables importantes como la temperatura y el flujo. Además, se debe asegurar de que los equipos de adquisición de datos sean compatibles con los sensores y proporcionen las características necesarias, como la velocidad de muestreo y el número de datos.

Referencias

Bolton, W. (2006). *Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica* (2a Edición ed.). Mexico: Alfaomega.

Çengel, Y. A. (2011). *Transferencia de calor y masa* (3th ed.). Mexico: Mc GrawHill.

Garcia, D. (26 de Marzo de 2011). *InfoPLC*. Obtenido de <https://www.infopl.net/descargas/19-delta/1074-manual-operacion-delta-dvp-es2-ex2-ss2-sx2-en-castellano>

Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (2012). *Fundamentos de transferencia de calor y masa* (7th ed.). Mexico: John Wiley & Sons.

Kern, D. Q. (1965). *Procesos de Transferencia de Calor* (1th ed.). Mexico: Mc Graw Hill Book Company.

Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). *Principios de transferencia de calor* (7th ed.). Mexico: Cengage Learning.

Pitts, D. R., & Sissom, L. E. (1979). *Teoría y problemas de transferencia de calor* (3th ed.). Mexico: McGraw Hill Latinoamericana.

Zapata, M., & Topón Visarrea, L. (2021). *Fundamentos de automatización y redes industriales* (1ra Edición ed.). Ecuador: Universidad Tecnológica Indoamericana.