



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

MODELADO, SIMULACIÓN Y CONTROL DE UN
INTERCAMBIADOR DE CALOR TIPO CORAZA Y TUBOS PARA
LA MATERIA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: BLANCA JUDITH HURTADO HURTADO

DIRECTOR: Ing. DARÍO FERNANDO GUAMÁN LOZADA MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Blanca Judith Hurtado Hurtado

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho del Autor.

Yo, Blanca Judith Hurtado Hurtado, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 03 de marzo del 2022

BLANCA JUDITH
HURTADO
HURTADO



Firmado digitalmente
por BLANCA JUDITH
HURTADO HURTADO
Fecha: 2022.03.14
22:26:02 -05'00'

Blanca Judith Hurtado Hurtado

025007568-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; Tipo: Propuesta Tecnológica, **MODELADO, SIMULACIÓN Y CONTROL DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR TIPO CORAZA Y TUBOS PARA LA MATERIA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS**, realizado por la señorita: **BLANCA JUDITH HURTADO HURTADO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marlon Ernesto Moscoso Martínez, Mtr. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: MARLON ERNESTO MOSCOLO MARTINEZ	2022-03-03
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada, MsC. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 Firmado electrónicamente por: DARIO FERNANDO GUAMAN LOZADA	2022-03-03
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos, Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: ADRIAN ALEJANDRO RODRIGUEZ PINOS	2022-03-03

DEDICATORIA

Con mucho júbilo dedico este logro principalmente a Dios. Sin dejar pasar el apoyo incondicional y paciencia brindada por mi familia que es el motor fundamental en mi vida y a todas aquellas personas que confiaron en mí.

Judith Hurtado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por derramar muchas bendiciones en mi carrera y diario vivir. A mi Madre Estelita y hermana Evita quienes son una herramienta fundamental en mi vida, a mi Padre Luis por estar pendiente de mí, a cada una de mis hermanas/os por el apoyo incondicional, a mis Tíos/as por cada uno de sus consejos y en especial a mi Abuelita Mercedes por sus oraciones que han sido primordial para seguir luchando por mis objetivos.

De igual manera a cada docente de la carrera de Ingeniería Química por la enseñanza y paciencia brindada. Enorme agradecimiento al Ing. Darío Guamán Lozada y al Ing. Adrián Rodríguez Pinos por las sugerencias ofrecidas en la corrección del presente trabajo que ha sido posible culminar el desarrollo.

Por último, agradezco infinitamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a su vez de manera especial a la Facultad de Ciencias, por abrirme sus puertas en su gran y noble enseñanza.

Judith Hurtado.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Planteamiento del problema.....	2
1.3.	Objetivos	3
1.3.1.	<i>Objetivo General</i>	3
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	3
1.4.	Justificación del proyecto	4
1.5.	Alcance	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1.	Estado del Arte	6
2.2.	Bases Teóricas	7
2.2.1.	<i>Intercambio de calor tipo tubo y coraza</i>	7
2.2.1.1.	<i>Partes que conforma un intercambiador de calor tipo coraza y tubos</i>	7
2.2.1.2.	<i>Coraza</i>	7
2.2.1.3.	<i>Tubos</i>	8
2.2.1.4.	<i>Espejos</i>	8
2.2.1.5.	<i>Deflectores</i>	8
2.2.1.6.	<i>Uso de los intercambiadores de coraza y tubos</i>	9
2.2.2.	<i>Fundamentos de la transferencia de calor</i>	9
2.2.2.1.	<i>Conducción</i>	10
2.2.2.2.	<i>Convección</i>	10

2.2.2.3.	<i>Radiación</i>	11
2.2.3.	<i>Lenguaje de Programación Matlab</i>	11
2.2.3.1.	<i>Tipologías de intercambiadores por su operación</i>	12
2.2.3.2.	<i>División del traspaso calórico de tipo coraza y tubos</i>	13
2.2.4.	<i>Descripción de los parámetros internos</i>	14
2.2.4.1.	<i>Numero de tubos</i>	14
2.2.4.2.	<i>Área de traspaso calórico</i>	15
2.2.4.3.	<i>Coefficiente Global</i>	15
2.2.4.4.	<i>Número de Reynolds</i>	15
2.2.4.5.	<i>Conductividad Térmica</i>	16
2.2.4.6.	<i>Flujo másico</i>	16
2.2.4.7.	<i>Longitud de tubo</i>	16
2.2.5.	<i>Automatización Industrial</i>	17
2.2.5.1.	<i>Sistemas de control</i>	17
2.2.6.	<i>Tipología del método de control</i>	18
2.2.6.1.	<i>Sistema de inspección de lazo abierto</i>	18
2.2.6.2.	<i>Sistema de intervención de lazo cerrado</i>	19
2.2.6.3.	<i>Ventajas y desventajas de intervención automático</i>	19
2.2.7.	<i>Transformada de Laplace</i>	20
2.2.7.1.	<i>Concepto de la transformada de Laplace</i>	20
2.2.8.	<i>Controladores automáticos industriales</i>	20
2.2.8.1.	<i>Control PID</i>	21
2.2.8.2.	<i>Tipos de controladores PID</i>	21
2.2.9.	<i>Elementos del método de control</i>	23
2.2.9.1.	<i>Etapa final de control</i>	23
2.2.9.2.	<i>Sensor de temperatura</i>	24
2.2.9.3.	<i>Controlador</i>	26
2.2.9.4.	<i>Transmisor</i>	27
2.2.10.	<i>Lenguaje de programación</i>	27
2.2.10.1.	<i>Matlab</i>	27
2.2.10.2.	<i>Ventana principal de Matlab</i>	28
2.2.10.3.	<i>Simulink</i>	30
2.2.10.4.	<i>Librerías de Simulink</i>	30
2.2.11.	<i>Interfaces gráficas de Matlab</i>	32
2.2.11.1.	<i>App Designer</i>	33
2.2.11.2.	<i>Componentes</i>	34
2.2.11.3.	<i>Estructura del archivo .m</i>	35

2.2.11.4.	<i>Códigos internos de programación</i>	35
2.3.	Marco Legal	36
2.3.1.	Código Asme y Norma Tema	36
2.3.1.1.	<i>Asme (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)</i>	36
2.3.1.2.	<i>Tema (Tubular Exchanger Manufactures Association)</i>	38
2.3.2.	Software con uso de licencia	41

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	42
3.1.	Etapas de la metodología	42
3.2.	Descripción del proceso	43
3.2.1.	<i>Modelo matemático del proceso</i>	44
3.3.	Determinación de las variables	44
3.3.1.	<i>Parámetros del modelo</i>	45
3.4.	Desarrollo del sistema de control y datos físicos del sistema	45
3.4.1.	<i>Datos Físicos del sistema</i>	48
3.5.	Balance General	49
3.5.1.	<i>Balance de masa del intercambiador</i>	49
3.5.2.	<i>Balance de energía del intercambiador</i>	49
3.6.	Obtención de datos para las funciones de transferencia	52
3.6.1.	<i>Factor general de transmisión de calor</i>	52
3.6.2.	<i>Área de transmisión calórica</i>	53
3.6.3.	<i>Cantidad de agua dentro de los tubos</i>	53
3.6.4.	<i>Flujo másico de agua</i>	53
3.6.5.	<i>Ganancia del proceso k_1 (W)</i>	54
3.6.5.1.	<i>Válvula de control</i>	54
3.6.6.	<i>Ganancia del proceso k_2 (Tv)</i>	55
3.6.7.	<i>Constante de tiempo $Thau_1 = Thau_2$</i>	55
3.6.8.	<i>Función de Transferencia</i>	56
3.6.9.	<i>Temperatura final del agua</i>	56
3.6.10.	<i>Diagrama de bloques</i>	56
3.7.	Método de control para el modelo interno de un baño termostático	57
3.7.1.	Balance energético	57
3.7.1.1.	<i>Variables a controlar</i>	58
3.7.2.	Desarrollo de las constantes del proceso	58
3.7.2.1.	<i>Ganancia del proceso k_1 (W)</i>	58

3.7.2.2.	<i>Ganancia del proceso k2 (Tv)</i>	59
3.7.2.3.	<i>Constante de tiempo $Thau1 = Thau2$</i>	59
3.7.2.4.	<i>Función de transferencia</i>	59
3.7.3.	<i>Datos empleados para el método de control</i>	60
3.8.	Simulación en Matlab	60
3.8.1.	<i>Creación de las principales funciones en Matlab</i>	60
3.8.1.1.	<i>Función .m</i>	61
3.8.2.	<i>Simulación en Simulink</i>	62
3.8.2.1.	<i>Ajuste del controlador</i>	62
3.8.3.	<i>Desarrollo del sistema de control</i>	64
3.8.3.1.	<i>Implementación de la válvula de control</i>	65
3.8.3.2.	<i>Implementación de la perturbación de temperatura</i>	66
3.8.3.3.	<i>Parámetros empleados en la simulación</i>	67
3.8.4.	<i>Corrección de errores en la simulación</i>	67
3.9.	Creación y proceso de la interface gráfica	68
3.9.1.	<i>Creación de la interfaz gráfica para el análisis del sistema</i>	68
3.9.2.	<i>Programación del código interno</i>	68
3.10.	Validación de datos obtenidos en la simulación	70

CAPÍTULO IV

4.	GESTIÓN DEL PROYECTO	71
4.1.	Presupuesto	71
4.2.	Recursos y Materiales	71
4.3.	Cronograma	72
4.4.	Discusión y análisis de resultados	72
4.4.1.	<i>Informe de resultados de la simulación en Matlab</i>	72
4.4.1.1.	<i>Caso Paper1</i>	73
4.4.2.	<i>Datos al azar para el controlador</i>	75
4.4.2.1.	<i>Caso validación - Libro</i>	77
4.5.	Validación de los resultados provenientes de Matlab	80
4.5.1.	<i>Validación de resultados Caso - Paper1</i>	81
4.5.2.	<i>Validación de resultados Caso - Libro</i>	81
4.6.	Ventajas frente a la utilización de software	82

CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	85
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Componentes de las válvulas automáticas de control.....	23
Tabla 2-2:	Funciones de activación	25
Tabla 3-2:	Características de las herramientas.....	29
Tabla 4-2:	Características de la barra de instrumentos	29
Tabla 5-2:	Características instrumentales	32
Tabla 6-2:	Descripción de los elementos de la herramienta App Designer	34
Tabla 7-2:	Marco legal referentes al uso de software	41
Tabla 1-3:	Parámetros del intercambio calórico	45
Tabla 2-3:	Propiedades del fluido que intervienen en el proceso	45
Tabla 3-3:	Datos físicos del intercambiador de calor.....	48
Tabla 4-3:	Especificaciones del equipo Intercambiador de calor	48
Tabla 5-3:	Parámetros empleados para el método de inspección	48
Tabla 6-3:	Parámetros de la válvula de inspección.....	54
Tabla 7-3:	Parámetros utilizados en la simulación	60
Tabla 8-3:	Funciones almacenadas en la interfaz gráfica	69
Tabla 1-4:	Presupuesto del proyecto.....	71
Tabla 2-4:	Cronograma del proyecto de titulación	72
Tabla 3-4:	Parámetros de ingreso en la interfaz.....	73
Tabla 4-4:	Parámetros que interviene en el elemento final.....	76
Tabla 5-4:	Parámetros tomados del catálogo 12	76
Tabla 6-4:	Datos de ingreso para el Caso-Libro	77
Tabla 7-4:	Datos colocados en la simulación para el Caso - Libro.....	78
Tabla 8-4:	Datos de salida para el Caso - Libro.....	80
Tabla 9-4:	Comparación de resultados del artículo y software - Matlab	81
Tabla 10-4:	Parámetros importantes a simular	81
Tabla 11-4:	Comparación de datos del libro y software - Matlab.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Intercambiador de calor tubos y coraza	7
Figura 2-2:	Tipos de coraza	8
Figura 3-2:	Arreglo de tubos.....	8
Figura 4-2:	Tipos de deflectores para el intercambio calórico.....	9
Figura 5-2:	Traspaso calórico de circulación paralelo	12
Figura 6-2:	Traspaso calórico de contraflujo	12
Figura 7-2:	Traspaso de calor del flujo cruzado	13
Figura 8-2:	Intercambiador de calor tipo U	13
Figura 9-2:	Intercambiador de cabezal fijo.....	14
Figura 10-2:	Intercambiador de cabezal flotante	14
Figura 11-2:	Elementos primordiales de un método de control.....	17
Figura 12-2:	Elementos de inspección sobre el lazo abierto.....	18
Figura 13-2:	Sistema de inspección de lazo cerrado.....	19
Figura 14-2:	Controlador proporcional.....	22
Figura 15-2:	Control derivativo	22
Figura 16-2:	Controlador Integral.....	22
Figura 17-2:	Representación de una válvula.....	24
Figura 18-2:	Función escalón unitario	26
Figura 19-2:	Función escalón unitario desplazado a $t=1.5$	26
Figura 20-2:	Ventana principal de Matlab.....	28
Figura 21-2:	Simulink Library Browser	31
Figura 1-3:	Variables de un intercambiador de calor.....	44
Figura 2-3:	Diagrama P&ID de un intercambio de calor.....	46
Figura 3-3:	Representación del control manual	47
Figura 4-3:	Representación del control automático	47
Figura 5-3:	Representación gráfica de un intercambiador	49
Figura 6-3:	Diagrama de bloques de un intercambio calórico	56
Figura 7-3:	Baño termostático	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Elementos de un modelo de Simulink	30
Gráfico 2-2:	Estructura de un archivo .m.....	35
Gráfico 1-3:	Pasos de la Metodología.....	42
Gráfico 2-3:	Pantalla principal de PID Tune.....	63
Gráfico 3-3:	Pantalla principal de Block parámetros: PID controlador	63
Gráfico 4-3:	Resultado del ajuste del controlador con el manejo del PID Tune.....	64
Gráfico 5-3:	Sistema de control desarrollado en Simulink	64
Gráfico 6-3:	Retardo de tiempo del sistema de transmisión de calor.....	66
Gráfico 7-3:	Conexión de los esquemas de bloques en Simulink	67
Gráfico 8-3:	Pantalla principal para la interfaz de un intercambiador	68
Gráfico 1-4:	Parámetros utilizados en la simulación Caso - Paper1	73
Gráfico 2-4:	Temperatura de salida mediante una perturbación.....	74
Gráfico 3-4:	Temperatura de salida del agua fría Tws en °F	75
Gráfico 4-4:	Respuesta del sistema de nivel de líquido frío	76
Gráfico 5-4:	Respuesta del sistema de inspección del intercambiador	77
Gráfico 6-4:	Punto de ajuste y respuesta de la temperatura	78
Gráfico 7-4:	Temperatura de vapor - Entrada manipulada	79

ÍNDICE ANEXOS

- ANEXO A:** CÓDIGO DE LA FUNCIÓN .M EN EL SCRIPT DE MATLAB (MODELADO Y SIMULACIÓN)
- ANEXO B:** HEAT EXCHANGER MODEL – SIMULINK, SUBSYSTEMS6 Y SUBSYSTEMS4
- ANEXO C:** RESPUESTA DEL SISTEMA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR (CASO-PAPER)
- ANEXO D:** CÓDIGO DE LA FUNCIÓN .M EN EL SCRIPT DE MATLAB CASO - LIBRO
- ANEXO E:** HEAT EXCHANGER MODEL VALID – SIMULINK Y SUBSYSTEMS1
- ANEXO F:** RESPUESTA DEL SISTEMA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR CASO - LIBRO
- ANEXO G:** EJERCICIO TOMADO DEL LIBRO CONTROL PROCESS
- ANEXO H:** MANUAL DE USUARIO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
\dot{m}_e	Flujo másico de entrada.
\dot{m}_s	Flujo másico de salida.
ρ	Densidad.
U	Coefficiente global de transferencia de calor
C_p	Capacidad calorífica
A_{TC}	Área de transferencia de calor
w	Flujo másico de agua.
Q	Caudal
T_e	Temperatura de entrada del agua a calentar.
T_s	Temperatura de salida del agua a calentar.
T_v	Temperatura del vapor.
w_0	Flujo másico inicial.
T_{v0}	Temperatura de vapor inicial.
L	Largo del intercambiador
Do	Diámetro de la coraza
Nt	Número de tubos.
Ri	Factor de obstrucción interno
Ro	Factor de obstrucción externo
$k_1; k_2$	Constantes
$\tau_1; \tau_2$	Constantes de tiempo
G_1	Funciones de transferencia de la temperatura de vapor.
G_2	Funciones de transferencia de flujo de agua.
ASME	American Society of Mechanical Engineers.
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association.
GUI	Interfaz gráfica de usuario.
PID	Controlador proporcional, integral y derivativo.
W	Watts

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el modelamiento, simulación y control de un intercambiador de calor tipo coraza y tubos; como herramienta didáctica para la materia de Control Automático de Procesos. Primero se determinaron las propiedades del fluido, condiciones de operación y variables. Una vez establecido dichos antecedentes se desarrolló el modelo matemático mediante el análisis de ecuaciones y finalmente se obtuvo la función de transferencia que describirá el comportamiento del intercambiador. Para el proceso de la simulación se utilizó la herramienta Matlab incluido un paquete llamado visual Simulink y para interfaces graficas App Designer. Para el sistema de control se utilizó visual Simulink para ello se importó los parámetros desde el script de Matlab agregándole un controlador PID para mejorar su funcionamiento. Del mismo modo, se creó la plataforma didáctica permitiendo interactuar con el usuario mediante la utilización de la herramienta App Designer. La aplicación es independiente de Matlab, para ello es adecuado instalar mediante los pasos establecidos en el manual. Como resultados se obtuvieron tres gráficas que ilustran la temperatura de salida, el nivel del fluido y apertura de la válvula de control de agua. En la validación del software se estableció un porcentaje de error mínimo dando a conocer que es un programa de forma confiable y es desarrollado en el menor tiempo posible. De igual manera se tiene que el modelo es útil de predecir y examinar la transferencia de calor. A partir de la simulación concluyo que el programa desarrollado permite la evaluación facilitando así la enseñanza y aprendizaje de la transferencia de calor. La recomendación a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo adquirir la licencia del software Matlab debido a que es una herramienta muy importante en la simulación de cualquier proceso industrial y afines.

Palabras clave: <INTERCAMBIADOR DE CALOR>, <MODELACIÓN>, <SIMULACIÓN>, <CONTROL DE PROCESOS>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <ECUACIONES MATEMÁTICAS>, <SIMULINK (SOFTWARE)>, <CARCAZA Y TUBOS>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.11.11
12:27:16 -05'00'



2086-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The present work focuses on the modeling, simulation and control of a shell and tube type heat exchanger; as a didactic tool for the subject of Automatic Process Control. First, the properties of the fluid, operating conditions and variables were determined. Once these antecedents were established, the mathematical model was developed through the analysis of equations and finally the transfer function that will describe the behavior of the exchanger was obtained. For the simulation process, the Matlab tool was used, including a package called visual Simulink and App Designer for graphical interfaces. For the control system, visual Simulink was used for this, the parameters were imported from the Matlab script by adding a PID controller to improve its Operation. In the same way, the didactic platform was created allowing interaction with the user through the use of the App Designer tool. The application is independent of Matlab, for this it is appropriate to install through the steps established in the manual. As results, three graphs were obtained that illustrate the outlet temperature, the fluid level and the opening of the pressure valve water control. In the validation of the software, a minimum error percentage was established, making it known that it is a program in a reliable way and that it is developed in the shortest possible time. Likewise, the model is useful for predicting and examining heat transfer. From the simulation, I conclude that the developed program allows evaluation, thus facilitating the teaching and learning of heat transfer. The recommendation to the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo to acquire the Matlab software license because it is a very important tool in the simulation of any industrial and related process.

Keywords: <HEAT EXCHANGER>, <MODELING>, <SIMULATION>, <PROCESS CONTROL>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <MATHEMATICAL EQUATIONS>, <SIMULINK (SOFTWARE)>, <HOUSING AND TUBES>.



firmado electrónicamente por:
NANCI
MARGARITA INCA
CHUNATA

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Debido a la rápida evolución de avances tecnológicos que promueve al mundo, la utilización de nuevas tecnologías de formación e investigación forjan a las instituciones educativas utilizar de manera frecuente lenguajes de programación a fin de generar mayor rendimiento académico por parte de los ingenieros químicos y afines (Gutierrez et al., 2020, p.182).

La ingeniería involucra obtener modelos matemáticos del transcurso y medidas de sintonía del supervisor. Del mismo modo, obtener un modelo matemático de distintos equipos, es una fase fundamental en el diseño de los sistemas de control y automatización ya que afecta directamente el desempeño y robustez de los controladores (Álvarez et al., 2020, p.42). Asimismo, asegurarnos el comportamiento interno que nos presente un intercambiador de calor.

Generalmente el intercambio de calor son aquellos que transportan calor entre dos fluido, en el caso del intercambiador tipo coraza y tubos son diseñados con base en la necesidad de desvanecimiento y/o transporte de energía térmica de un espacio a otro, en este prototipo de sistemas las irreversibilidades acompañan al traspaso de calor y la declinación de presión son las de alta importancia en el transporte de energía (Jiménez, 2018, p.12).

De acuerdo con Jiménez (2018, p. 23), el intercambio de calor de coraza y tubos dependen de la necesidad y condición de trabajo, que operen largos periodos de tiempo sin cambio en sus condiciones operacionales, lo cual permite considerarlo sistemas de flujo estacionario. Además, una de las ventajas que presenta un intercambiador de calor de coraza y tubos es poder trabajar sin ningún tipo de problemas con fluidos en todos los estados y a temperaturas y presiones altas. Sin embargo, la simulación y modelado se obtiene mediante el estudio de un conjunto de ecuaciones matemáticas a través del comportamiento dinámico de un equipo. Por otro lado, el desarrollo tecnológico en el aspecto de la herramienta computacional se ha convertido en un instrumento muy importante para el control de procesos como son: industrias petroleras, industrias químicas y afines, que operen con fluidos en ambos lados.

Finalmente, la automatización como una disciplina de la ingeniería, abarca la instrumentación industrial que incluye: sensores, transmisores de campo, sistemas de transmisión, sistemas de control, recolección de datos, y la utilidad de programas en período real para inspeccionar el sistema, además examinar las instrucciones de plantas o procesos industriales y así descartar la inspección humana (Chicaiza, 2014, p.16).

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la transferencia de calor es un proceso frecuente e importante en el intercambio de diferentes temperaturas, debido a esto se ha incrementado necesariamente industrias petroleras, alimenticias, diseño textil, producción de fármacos, agroquímico y fertilizantes por lo que algunas estimaciones indican que existe un grado térmico. De ello resulta, que los procesos empleados en dichas industrias descargan importantes funciones modernas y porvenir. El proceso de transferencia de calor en un intercambiador se realiza entre dos fluidos a diferentes temperaturas con el fin de alcanzar un equilibrio térmico, es decir, el calor entregado por un líquido es sumergido por el otro tipo del fluido. A pesar de su uso industrial generalizado y sus importantes beneficios, su empeño representa comúnmente el 70% de varios modelos desarrollados para intercambiadores.

Entre sus múltiples ventajas de los procesos interactivos de enseñanza aprendizaje en el sentido de incrementar la eficacia en la transición y adquisición del conocimiento son aspectos ampliamente reconocidos y documentados. La acelerada evolución en los aparatos de computación y las tecnologías de información han incrementado su potencial de aplicación en diferentes áreas de la ingeniería (Machuca y Urresta, 2008, p.53).

Posteriormente, para la creación del lenguaje de programación utilizaremos MATLAB un contenido básico de mucha ayuda en ingeniería, en su entorno integrado de trabajo permite el análisis y la computación matemática interactivos de forma fácil y sencilla además presenta más de 500 funciones matemáticas, estadística y técnicas implementadas, así como la visualización a través de todos los gráficos de ingeniería y científicos (Pérez, 2002, p.1).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Modelar, simular y controlar un intercambiador de calor tipo coraza y tubos para la materia de control automático de procesos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir y modelar matemáticamente el intercambiador de calor en condiciones dinámicas, previamente desarrollados.
- Programar y simular el comportamiento del intercambiador de calor mediante un software.
- Validar la simulación con ejercicios prácticos, con la finalidad de compararlos con algún ejemplo de la vida cotidiana.
- Elaborar un manual de operación sobre el uso del programa desarrollado.

1.4. Justificación del proyecto

La transferencia de calor se da mediante un intercambio calórico al ingresar dos fluidos a diferentes temperaturas permitiendo alcanzar un equilibrio térmico por lo que es importante el uso de un equipo que facilite este proceso, un intercambiador de calor tipo coraza y tubos nos presenta numerosas ventajas frente a la reducción de temperaturas de un fluido a otro, calentando un líquido frío por medio de un fluido con alta temperatura.

La tecnología hoy en día presenta el desarrollo, análisis y optimización de procesos, sino también es utilizada como una alternativa clave para representar virtualmente cualquier proceso industrial y afines. Sin embargo, los procesos industriales en sus operaciones requieren mantener o garantizar determinados parámetros en su funcionamiento ya sea en la implementación automática, dada la necesidad y avance de la ciencia. Es así como la enseñanza ha optado por lenguajes de programación didáctico donde se estudie y examinen parámetros y variables para un sin número de sistemas de estudio.

Por tal motivo se desarrollará un modelado matemático, el mismo que nos permita obtener un conjunto de ecuaciones y variables del sistema, consecutivamente la simulación del intercambiador de calor donde se efectúa un sistema de control automático por último el desarrollo de la interfaz gráfica mediante la utilización del software MATLAB/App Designer.

Por otro lado, el resultado obtenido otorga que el sistema de control y simulación de un intercambio calórico desarrollado en MATLAB, permita al estudiante utilizar como una herramienta didáctica, rápida y confiable dentro y fuera de una industria sea lo más eficiente posible, permitiendo conocer los componentes principales como son: temperatura y flujo. De esta manera se puede examinar y/o estudiar el comportamiento mediante condiciones de forma espontánea y simplificada.

Finalmente, el presente proyecto es utilizado como una herramienta didáctica para la cátedra de Control automático de procesos. Por esa razón, el proyecto enmarca a las líneas de investigación de procesos tecnológicos, artesanales e industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para el progreso y mejoramiento de expresión del hombre.

1.5. Alcance

El presente proyecto de Integración Curricular tiene como objetivo modelar matemáticamente y simular mediante software un intercambiador de calor tipo coraza y tubos como herramienta didáctica que involucre; el fácil ingreso de los parámetros, diferentes graficas de importancia en un intercambiador de calor, con el fin de transportar calor entre ambo fluidos que se encuentran a diferentes temperaturas y a su vez separados por una pared metálica.

Para la simulación lograremos introducir las respectivas ecuaciones y parámetros con la intención de conseguir un control automático y una interfaz gráfica de modo que se logre validar un ejercicio. Por consiguiente, el software utilizado para la simulación y sistema de control es MATLAB un lenguaje de alto rendimiento para cálculos referente a ingeniería y afines, de tal manera crear y modificar proyectos presentes.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

El traspaso calórico tiene como finalidad ceder energía térmica de un fluido ardiente a otro fluido frío. Los dos flujos de materia frío y ardiente, no entran en contacto directo entre sí (Chucuya y Saldaña, 2018, p.95). Por si fuera poco, los intercambiadores de calor son dispositivos más significativos en la industria, su esquema termodinámico se fundamenta en el coeficiente global de transferencia de calor y la caída de presión total (Reyes et al., 2015, p.104).

Otro estudio realizado por Ao et al. (2018, p.290) menciona que es un dispositivo de uso común para el intercambio de calor entre diferentes medios. Su investigación y aplicación reciben gran interés del mundo en su totalidad dejando así una investigación activa en tecnologías de transferencia de calor. Existen varios factores inestables en el proceso de intercambio, la alteración de temperatura o el caudal se produce con frecuencia.

Generalmente el traspaso calórico se ocasiona a disposición que uno de los líquidos se mueve por dentro de los tubos, mientras tanto, el otro se traslada por el lado de la coraza. Generalmente están instalados deflectores para incrementar el coeficiente de convección del fluido con respecto el lado de la coraza lo que impulsa turbulencia en un componente de velocidad en la trayectoria del fluido cruzado (Meneses et al. 2019, p.238).

Es así que Paredes y Barros (2015, p.2) explica que una partícula energizada entra en relación con una partícula menos energizada sucederá una transferencia térmica de fuerza desde la partícula más ardiente a la partícula más frígido hasta que las dos partículas alcancen a una elevación de potencia llamado igualdad térmica.

La simulación de un proceso químico se logra ejecutar una vez alcanzado un modelo matemático, dicho modelo involucra un conjunto de ecuaciones diferenciales que modela el comportamiento del intercambiador con respecto a las entradas. Los estudios llevados a cabo hoy en día tienen una orientación en la simulación del intercambiador tipo carcasa y tubos, la misma que se ha establecido como una herramienta didáctica alternativa en la colectividad automático.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Intercambio de calor tipo tubo y coraza

El traspaso calórico tipo coraza y tubos son los más utilizados en industrias químicas. Consiste en un haz de tuberías o tubos encerrado dentro de una carcasa cilíndrica, un fluido fluye a través de los tubos y el segundo fluido fluye dentro del espacio entre los tubos y la carcasa (Cartaxo et al., 2014, p. 1). Como se puede visualizar en la (figura 1-2).

Jiménez (2018, p.21) manifiesta que los intercambiadores de calor de tipo coraza y tubos son los más empleados a nivel industrial debido a su gran desempeño de operación y un alto nivel de eficiencia, por otro lado, también a su bajo costo de fabricación, diseño y mantenimiento.

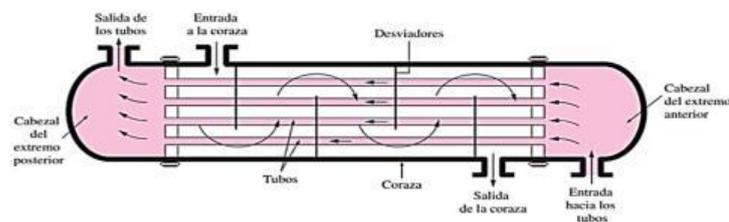


Figura 1-2: Intercambiador de calor tubos y coraza

Fuente: (Cengel, 2007, p. 612).

2.2.1.1. Partes que conforma un intercambiador de calor tipo coraza y tubos

Como su nombre lo indica, consta de una carcasa (recipiente de presión alto) internamente con un paquete de tubos. Un líquido transita por los tubos y otro fluye por arriba de los tubos (carcasa) para transportar calor entre los dos líquidos. El conjunto de tubos se denomina haz de tubos y puede estar compuesto por varios tipos de tubos como son: lisos, aletas entre otras (Bhaskarwar et al., 2015, p. 842). Como se muestra en la (figura 1-2).

2.2.1.2.

Coraza

Es un recipiente cilíndrico en el cual se encuentra bajo presión interna y externa, como se puede visualizar mediante la (figura 2-2) la coraza es la estructura que permite el paso de fluido y la transferencia de calor entre los tubos y la coraza del fluido que está circulando (Martínez, 2017, p.18).



Figura 2-2: Tipos de coraza

Fuente: (Martínez, 2017, p.19).

Tubos

2.2.1.3. Los tubos se hallan disponibles en diferentes metales, los que contienen acero, Muntz, latón, cobre-níquel, aluminio y aceros inoxidables entre otros. Por otra parte, los tamaños más comunes están entre $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada de diámetro exterior (Martínez, 2017, p. 19). Como se presenta en la (figura 3-2).

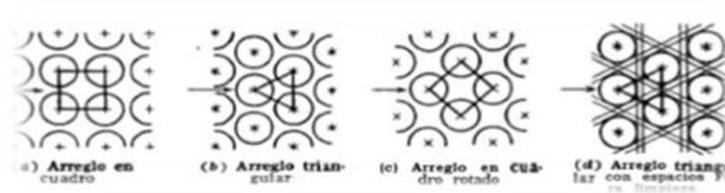


Figura 3-2: Arreglo de tubos

Fuente: (Martínez, 2017, p.19).

2.2.1.4.

Espejos

Son láminas redondas ranuradas para el establecimiento de conductos, empaquetes, barrillas tensoras y el ambiente de tuercas para ofrecer a la coraza. Además, los agujeros en los espejos no pertenecen a ser perforados juntos unos de otro, debido a que una faja estrecha entre tubos amortiguará el cabezal de conductos o espejos (Martínez, 2017, p.20).

2.2.1.5.

Deflectores

Los deflectores como se puede visualizar en la (figura 4-2) pueden extenderse ya estén juntos o apartados, la masa de velocidad no demanda absolutamente del diámetro de la coraza. Es indiscutible que alcancen coeficientes de transporte de calor más altos cuando el fluido se conserva en etapa de turbulencia (Martínez, 2017, p.20).

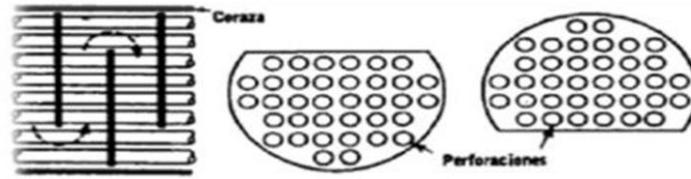


Figura 4-2: Tipos de deflectores para el intercambio calórico

Fuente: (Martínez, 2017, p.20).

Uso de los intercambiadores de coraza y tubos

2.2.1.6. El uso principal que se les puede dar a los intercambiadores por lo general es recuperar calor entre dos flujos en el proceso. También se emplean comúnmente para:

- Vapor/Agua, para condensar vapor/o calentar agua.
- Aceite/Agua, nos ayuda a enfriar aceite en métodos de engrase y convertidores eléctricos.
- Aire/Agua, para enfriar agua como Post-enfriadores de compresos de aire.
- Refrigerante/Agua, para condensar refrigerantes
- Vapor/Combustóleo, para calentar combustóleo en tanques de almacenamiento (Martínez, 2017, p.17).

2.2.2. Fundamentos de la transferencia de calor

Un intercambiador de calor es un equipo que transporta calor y está relacionado con dos fluidos, que circulan separados por medio de una pared sólida (carcaza). Inicialmente, el calor se transporta del líquido caliente hacia la pared por convección, consecutivamente por medio de la muralla por conducción, posteriormente, la pared hacia el líquido frío de nuevo por convección. Igualmente, para la radiación suele incluirse en los coeficientes de cambio calórico por convección (Chicaiza, 2014, p.3).

Por otra parte, Meneses et al. (2019, p.238) explica que la transmisión calórica se ocasiona a disposición que uno de los líquidos se mueven por dentro de los tubos, mientras tanto, el otro se traslada por el otro sector de la coraza. Generalmente están instalados deflectores para incrementar el coeficiente de convección del fluido con respecto el lado de la coraza lo que impulsa turbulencia en un componente de velocidad en la trayectoria del fluido cruzado.

Conducción

Esta expresión se halla en transmisión calórica en medio de dos cuerpos de un idéntico elemento a diferentes temperaturas preciso a la agitación térmica de los átomos, no preexistiendo así un desplazamiento real de estas moléculas (Altamirano et al. 2019, p.40).

En otra investigación, Çengel y Ghajar (2011, pp.17-18) menciona que la conductividad puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. Usualmente, los gases y líquidos en la conducción corresponden a las colisiones y expansión de los átomos a lo extenso de la circulación aleatoria. De igual forma, los sólidos se basan en la combinación de oscilaciones por medio de átomos respecto a una casilla y al transporte de energía por lado de los electrones libres.

A continuación, la conductividad se representa por medio de la siguiente ecuación:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec. 1-2}$$

Donde:

q_k	Flujo o transferencia de calor	W
k	Conductividad térmica	W/m*K
A	Área perpendicular	m ²
$\frac{dT}{dx}$	Gradiente de temperatura	K/m
(-)	Indica el calor de la temperatura en descenso.	

2.2.2.2. Convección

Es un proceso de movimiento de corrientes de aire por diferencias de densidades. Sin embargo, la convección también es el traspaso calórico por movimiento real de las moléculas de una sustancias. Es el modo en que se transfiere la energía entre una superficie sólida y el fluido adyacente (aire), debido a un movimiento macroscópico del fluido que mientras más rápido es, mayor es la transferencia de calor por este mecanismo (Altamirano et al., 2019, p.40).

Según, Cengel (2007, p. 26) se pronuncia que la convección también se le llama convección forzada, es decir, si el líquido es forzado a circular sobre la superficie por medio de bienes externos como es un ventilador, una bomba o el viento normalmente. Como diferencia, se enuncia que la convección natural o libre es el movimiento del líquido que es producido por las fuerzas de empuje que son provocadas por las desigualdades de espesor debido a la diferenciación de la calentura del líquido.

A continuación, la convección se representa por medio de la posterior igualdad:

$$q_c = hA(T_\infty - T_s) \quad \text{Ec. 2-2}$$

Donde:

q_c	Flujo o transferencia de calor	W
A	Área superficial	m^2
h	Coefficiente de traspaso calórico	$W/m^2 \cdot K$
T_∞	Temperatura del fluido (no perturbado)	$^\circ K$
T_s	Temperatura de área	$^\circ K$

Radiación

2.2.2³ Se da mediante ondas electromagnéticas en espacios vacíos provocando un efecto radiante a cualquier objeto y al ser humano. Esta figura solo se origina en líquidos debido a la corriente natural (distintas densidades), o por un transporte forzado a través de aparatos de ventilación, y así las partículas del calor puedan moverse, transportando éste sin obstaculizar la continuidad física del cuerpo (Altamirano et al., 2019, p.40).

A su vez, Cengel (2007, p.28) manifiesta que la radiación es un prodigio volumétrico y los sólidos, líquidos y gases emiten, empapan o transfieren radiación en numerosos estados tomando en cuenta su rango de temperatura. Dicho de otra forma, la emisión recubre una apariencia aparente para los sólidos que al ser oscura a la radiación térmica para que un material de ese tipo nunca pueda llegar a la superficie.

Su fórmula viene expresada de la siguiente manera:

$$q_{radiac} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{air}^4) \quad \text{Ec. 3-2}$$

Donde:

q_{radiac}	Flujo o transferencia de calor	W
T_s	Temperatura absoluta	$^\circ K$
T_{air}	Temperatura a sus alrededor	$^\circ K$
A	Área del cuerpo radiante	m^2
σ	Constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8}$)	$W/m^2 K^4$
ε	Emitancia de área.	

2.2.3. Lenguaje de Programación Matlab

El lenguaje de programación que se va a desarrollar la simulación es Matlab una herramienta completa para efectuar cálculos de una manera sencilla dentro de esta aplicación encontramos simulink y App Designer, por consiguiente, simulink es empleado para el proceso de dichas variables y finalmente utilizamos la herramienta App Designer para conseguir la ejecución final como es la interfaz gráfica de un traspaso calórico.

Tipologías de intercambiadores por su operación

De acuerdo con la operación que deseamos realizar, podemos localizar diversas direcciones relativas que existe entre los dos flujos de fluido mediante su operación. Entre las tres categorías más importantes están las siguientes: flujo paralelo, contraflujo y flujo cruzado (Llangarí y Solís, 2012, p.6).

Es importante prescindir que el traspaso calórico no se estrictamente de corriente paralelo, contraflujo o corriente cruzado; usualmente una conjugación de dos o tres tipologías de traspaso calórico. Por lo tanto, el conocimiento de incluir la mezcla de diferentes características unitarios, es propagar la eficacia del intercambio calórico interiormente de las limitaciones pertinentes del esquema que admite construir la dificultad del cambio (Llangarí y Solís, 2012, p.8).

Flujo paralelo: En un cambio de flujo paralelo sugiere, ambas corrientes (caliente y fría) transitan en el mismo sentido. Los dos arroyos entran por el extremo y salen por el otro. La disposición del flujo de las corrientes de fluido en el caso de intercambiadores de calor de fluido paralelo tal como se ilustra en la siguiente (figura 5-2) (Singh y Kumar 2014, p.67).

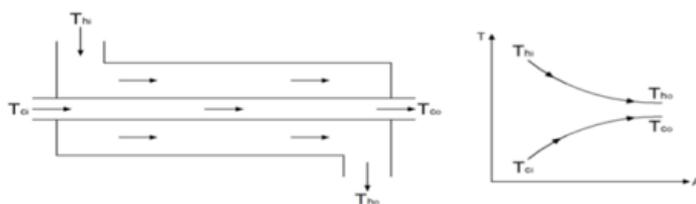


Figura 5-2: Traspaso calórico de circulación paralelo

Fuente: (Llangarí y Solís, 2012, p.7).

Contraflujo: Los fluidos ingresan al traspaso calórico a contraflujo, los fluidos ingresan al intercambiador desde extremo opuestos. Son más eficientes que los intercambios de calor por flujo paralelo porque crean una discrepancia de temperatura más uniforme entre los fluidos, en toda la longitud de la trayectoria del fluido. Por otra parte, permiten que el fluido salga con una temperatura más alta que la del líquido ardiente que sale, tal como se presenta en la (figura 6-2) (Singh y Kumar 2014, p.67).



Figura 6-2: Traspaso calórico de contraflujo

Fuente: (Llangarí y Solís, 2012, p.7).

Flujo cruzado: Como se puede visualizar mediante la (figura 7-2) nos indica el traspaso calórico de flujo cruzado en donde uno de los líquido filtra de forma vertical al otro fluido, de modo que, uno de los líquidos transita por el lado de los tubos mientras que el otro fluido pasa por el entorno de dichos tubos plasmando un ángulo de 90° (Llangarí y Solís, 2012, p.8).

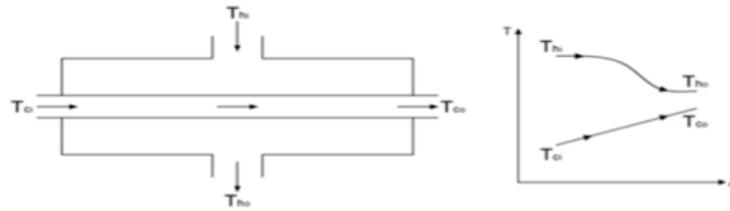


Figura 7-2: Traspaso de calor del flujo cruzado

Fuente: (Llangarí y Solís, 2012, p.8).

División del traspaso calórico de tipo coraza y tubos

2.2.3.2.

Los intercambiadores generalmente son aprovechados para múltiples desempeños dentro y fuera de industrias químicas y afines entre ellas están: redes de mantenimiento, construcción, producción de alimentos, ventilación, calefacción entre otros a continuación, se describen las características del intercambio calórico más utilizados:

- **Intercambiador de Calor tipo U:** El limitante es trabajar con fluidos no marchantes en el lado del tubo evitando alguna clase de libertinaje. Los tubos son doblados en estructura de U están unidos a una única placa llana, con el fin que no puedan moverse relativamente en la coraza eliminando los problemas de movimiento entre la coraza y tubos (Martínez, 2017, pp. 21-22). Como se ilustra en la presente (figura 8-2).

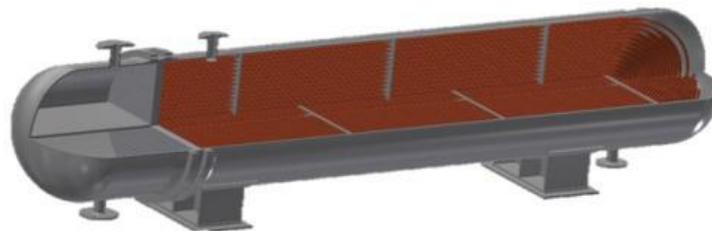


Figura 8-2: Intercambiador de calor tipo U

Fuente: (Ibarra et al. 2019, p.70).

- **Intercambiador de Cabezal Fijo:** Estos intercambiadores limita a trabajar con fluidos marchantes por el sector de la coraza, aunque hay excepciones algunos fluidos con impurezas que pueden ser conducido por medio de la tubería y pueden tener dos espejos soldados en la coraza, como se puede visualizar en la (figura 9-2). Igualmente, la coraza debe estar llena para lograr la máxima transferencia de calor, pero esto incrementa la caída de presión en el lado de la coraza (Martínez, 2017, p.22).

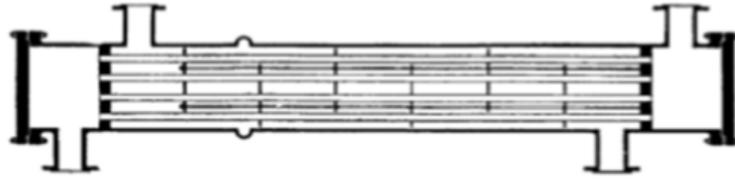


Figura 9-2: Intercambiador de cabezal fijo

Fuente: (Martínez, 2017, p.22).

- **Intercambiadores de cabezal flotante:** Los intercambiadores de cabezal flotante se caracterizan por tener un espejo fijo, durante ese tiempo que el otro flota permitiendo el movimiento libre en medio de la carcasa y los tubos, del mismo modo, la configuración es la más indicada en servicios en los que la limpieza de tubos o su sustitución es usual, según se presenta en la siguiente (figura 10-2) (Martínez, 2017, p.23).

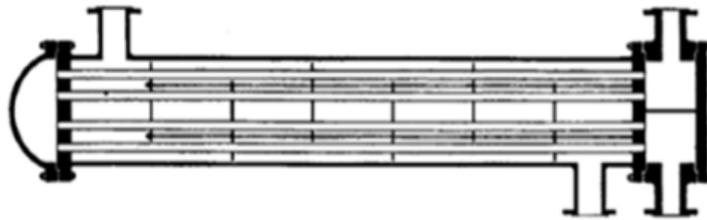


Figura 10-2: Intercambiador de cabezal flotante

Fuente: (Martínez, 2017, p.23).

2.2.4. Descripción de los parámetros internos

2.2.4.1.

Numero de tubos

El número máximo de tubos N_t que componen el banco de tubos es calculado. El dígito es computarizado en función del arreglo de bancadas de tubos separados en la intersección de usuario. El diámetro externo de tubos d_o . El tamaño de paso existente entre tubos P_t . El diámetro de la coraza d_s y el número de vueltas dentro de la coraza stp (Cabrera et al. 2018, p.39).

$$n_t = \frac{A}{\pi d_o L} \quad \text{Ec. 4-2}$$

Donde:

A	Área de traspaso calórico	ft^2
d_o	Diámetro externo	in
L	Longitud de los tubos	ft
n_t	Número de Tubos	

Área de traspaso calórico

Mediante el área de transmisión calórica hacia un intercambiador es el área superficial total exterior de la tubería. Y se puntualiza como tal área disponible para la transferencia que ingresa ambos fluidos. Se calcula de la siguiente manera, hallando la superficial de un tubo y multiplicando el valor por el número de tubos y el número de movimiento por el armazón (Natividad y Tovar, 2013, p.10). A continuación, lo muestra la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\dot{Q}}{U F \Delta T_{ml,CF}} \quad \text{Ec. 5-2}$$

Donde:

\dot{Q}	Flujo térmico	Watts
U	Factor de traspaso calórico	BTU/s °F.ft ²
$\Delta T_{ml,CF}$	LMTD	°F
F	Factor de corrección LMTD	

2.2.4.3. Coeficiente Global

Es la cantidad de calor total transferido por unidad de superficie ante una variación de un grado Celsius, por ende, varía de acuerdo con las características del traspaso calórico controlado (Natividad y Tovar, 2013, p.10).

$$U_{do} = \frac{1}{\left(\frac{1}{U} + Ri + Ro\right)} \quad \text{Ec. 6-2}$$

Donde:

U	Coeficiente Global de transferencia de calor	BTU/s °F.ft ²
Ri	Factor de obstrucción interno.	$\frac{hft^2 * °F}{BTU}$
Ro	Factor de obstrucción externo.	$\frac{hft^2 * °F}{BTU}$

Número de Reynolds

Es un dígito indefinido que vincula principalmente la viscosidad, densidad, velocidad y la dimensión de un flujo con la finalidad de determinar si un flujo es laminar $450 < Re < 1800$ o turbulento $Re > 1800$. Por otro lado, la condensación sobre las medidas superficiales de los tubos o placas verticales se incrementan en la trayectoria del flujo al aumento de espesor del líquido (Burbano, 2014, p.33).

$$N_{Re} = \frac{v * \rho * Di}{\mu} \quad \text{Ec. 7-2}$$

Donde:

v	Velocidad del fluido	m/s
ρ	Densidad	lb/ft ³
Di	Diámetro interno de los tubos	in
μ	Pegajosidad dispuesta del líquido	Pa.s

Conductividad Térmica

2.2.4.5. La conductividad se define como el conjunto calórico que pasa por medio de un mecanismo de superficie de un tipo del material extensión finita caras plano-paralelas y espesor. Por otro lado, la conductividad es la propiedad de cada material para conducir calor (Natividad y Tovar, 2013, p.10).

$$K = \frac{Qd}{A\Delta T} \quad \text{Ec. 8-2}$$

Donde:

K	Conductividad térmica	BTU/h ft °F
Q	Cantidad de calor transferido	Julios
d	Distancia entre los planos isotérmicos	ft
A	Área de extensión	ft ²
ΔT	Diferencia de temperatura	°F

2.2.4.6.

Flujo másico

Es el caudal másico que va a fluir por los tubos y se define como la capacidad que enuncia la diferenciación de aglomeración con relación al tiempo en una superficie delimitada.

$$m = n * \frac{\pi}{4} * Di^2 * L * \rho \quad \text{Ec. 9-2}$$

Donde:

m	Flujo másico	lb/s
Do	Diámetro externo del tubo	in
L	Longitud del intercambiador	ft
2.2.4.7. ρ	Densidad	lb/ft ³

Longitud de tubo

Es aquella distancia que se encuentra cada dos nodos, para la debida experimentación de las condiciones del flujo.

$$L_{tubos} = \frac{A}{\pi * D * n} \quad \text{Ec. 10-2}$$

Donde:

- A Área de traspaso calórico ft^2
 D Diámetro in
 n Número de filas de un intercambiador de calor.

2.2.5. Automatización Industrial

La sistematización es la manipulación de procedimientos o compendios automatizados y electromecánicos para inspeccionar máquinas o métodos automáticos reemplazando a operadores humanos, con la finalidad de economizar e impedir pérdida de tiempo (Chicaiza, 2014, p.16).

Sistemas de control

2.2.5.1.

Los sistemas de control son un conjunto de dispositivos enlazados entre sí, de tal manera que consigan regular su función por sí mismos, sin la participación del ser humano. Además, debe ser capaz de enmendar los posibles errores importantes que pueden presentarse durante el funcionamiento de la plantas o procesos industriales como se puede visualizar mediante la siguiente (figura 11-2) (Maila, 2019, p.5).

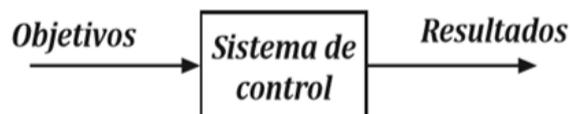


Figura 11-2: Elementos primordiales de un método de control

Fuente: (Carrillo, 2011, p. 20).

Por consiguiente, se describe los elementos utilizados en un sistema automático.

Proceso: es aquel conjunto de pasos que se ejecutan en un seguimiento determinado, los cuales producen cambios graduales definidos que llevan de una condición a otra para alcanzar un resultado final (Maila, 2019, p.6).

Planta: se define como cualquier objeto o conjunto de elementos físicos que pueden ser controlados a través de cualquier manipulación (Maila, 2019, p.6).

Controlador: es un dispositivo que tiene a cargo emplear las leyes de control seleccionadas por el experto. Al controlador llegan dos señales como son: medida de la variable de inspección y la referencia de la variable inspeccionada, para ser controlada una señal (Adam, 2020, p.26).

Sensores: son aquellos elementos experimentados para la medición de elementos que ingresan y salen, de cualquier proceso. Por ejemplo tenemos las termocuplas, rotámetros, celdas de presión artificial entre otras, generalmente los más empleados son aquellos que permiten una buena y rápida medición y el envío a distancia por medio de una marca de mensuración (Adam, 2020, p.26).

Perturbación: son aquellas señales tanto internas como externas no deseadas que se dan al momento de ejecutar cualquier programación las cuales totalmente afectan y/o distorsionan el funcionamiento del sistema de operación (Maila, 2019, p.6).

Actuador: es un instrumento de potencias ubicado en la planta o el proceso cuya finalidad es entregar energía o realizar un trabajo al recibir una completa disposición por parte del controlador para mantener el valor de salida deseado (Maila, 2019, p.7).

Transductor: es aquel dispositivo que nos ayuda a transformar una magnitud física en una verdadera señal que puede ser completamente interpretada por técnicas de inspección a fin de llegar a una respuesta y/o solución (Maila, 2019, p.7).

2.2.6. Tipología del método de control

Entre los métodos de control más importantes y utilizados a escala industrial tenemos métodos de inspección de lazo abierto e inspección de lazo cerrado que se describe a continuación:

2.2.6.1. Sistema de inspección de lazo abierto

Un sistema de inspección es aquel donde la salida controlada no tiene efecto alguno sobre la operación de intervención, es decir, la salida controlada adecuadamente no es realimentada para llegar a compararla con la entrada por su manejo, como se muestra la (figura 12-2) (Adam, 2020, p.23).



Figura 12-2: Elementos de inspección sobre el lazo abierto

Fuente: (Carrillo, 2011, p.24).

A continuación, se presenta las características de un régimen de intervención de lazo abierto:

- Cada entrada de referencia corresponde a un cambio de operación fijada para la planta o proceso.
- La precisión de este sistema de automático necesita de la evaluación (construye una analogía entre entrada y salida con el objetivo de alcanzar una precisión esperada).

- Son económicos pero inexactos.
- Poseen mayor sensibilidad a perturbaciones generadas por el medio (Maila, 2019, pp.7-8).

Sistema de intervención de lazo cerrado

2.2.6.2. Es un régimen de control como se exterioriza en la (figura 13-2) tiende a conservar o llevar a la salida controlada al total de relación de entrada, confrontando ambas y empleando su diferencia en una ley de inspección preestablecidas (Adam, 2020, p.24).

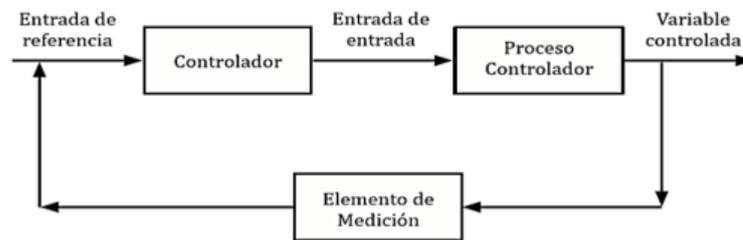


Figura 13-2: Sistema de inspección de lazo cerrado

Fuente: (Carrillo, 2011, p.25).

A continuación, se presenta las características de un método de inspección de lazo cerrado:

- La estabilidad es una función primordial en esta tipología de métodos ya que puede modificar los tropezones que ocasionan cambios no deseados dentro de una función.
- Es la forma más firme frente a perturbaciones y variabilidad que se da dentro del transcurso.
- Este tipo de sistemas se utilizan para realizar el control de procesos más complejos que requieren de un control continuo y una exactitud mayor (Maila, 2019, p.8).

2.2.6.3.

Ventajas y desventajas de intervención automático

Ventajas

- Reducción de tiempo
- Productividad de alto ingreso
- Excelente eficacia en el perfil de productividad
- Supresión de la intervención humana

Desventajas

- Desempleo
- Reducción del poder de compra

2.2.7. *Transformada de Laplace*

Es un instrumento preciso más usado para resolver completamente ecuaciones diferenciales. De igual modo, en confrontación por medio de los procesos tradicionales de resolución de igualdades diferenciales, el procedimiento de Laplace se justifica en: (Carrillo, 2011, p.32).

- Las resoluciones, tanto homogéneas como extraordinarias de las igualdades diferenciales, alcanzan en un cálculo matemático.
- La convertida de Laplace cambia la fórmula diferencial en sistemas algebraicos con el ejecutor s , por lo que es aleatorio maniobrar las mismas por medio de las medidas esenciales de ecuación para conseguir el término en la autoridad de s . La última etapa se logra tomando la transformada opuesta de Laplace (Carrillo, 2011, p.32).

Concepto de la transformada de Laplace

2.2.7.1.

Sea $f(t)$ una función continua en $[0, \infty)$. La transformada de Laplace de $f(t)$ es la situación $f(s)$ puntualizada por medio de la integral: (Carrillo, 2011, p.32)

$$f(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad \text{Ec. 11-2}$$

El imperio de la situación $F(s)$ está desarrollado por todos los productos de s por lo cual, la proporcional integral en (1) si existe, por ende la convertida de la Laplace se expresa $L\{f(t)\}$ o $f(s)$. Donde la variable $s = \alpha + j\omega$ se puntualiza en el recto complicado (Carrillo, 2011, p.32).

2.2.8. *Controladores automáticos industriales*

La función del controlador automático es comparar el total existente de la final de la planta con el valor deseado, con la finalidad de minimizar completamente las equivocaciones en los métodos de inspección. De igual manera, un inspector determina la desviación y ocasiona un signo de inspección que comprime la desviación a cero o a un valor reducido deseado, la representación en que el controlador produce la señal se llama acción de control (Carrillo, 2011, p.187).

Un control automático cumple la función más importante dentro de la industria y afines, debido a la parte integral de los métodos internamente y fuera de una industria y fabricación. Por ejemplo, tenemos el control automático esencial en la presión, temperatura, viscosidad, nivel, humedad, caudal entre otros procesos con el propósito de mejorar la productividad y facilitar el trabajo humano (Hernández et al., 2014, p.47).

Control PID

Es un método de regulación que trata de prevalecer las ventajas de uno de los controladores de acción básica, del mismo modo que, si el aviso de inexactitud varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral y, mientras que, si el aviso de error varía paulatinamente en el tiempo, influye la acción proporcional e integral y, durante este tiempo la muestra de error transforma levemente, prevalece la acción derivativa. Tiene la superioridad de entregar una observación muy apresurada y reparación del signo de error próximo en el transcurso de perturbación (Pey, 2018, p.12).

A continuación, tenemos la (Ec.12-2) que representa al controlador de acción proporcional, integral y derivativa:

$$y(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot t_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + K_p \cdot \frac{1}{t_i} \cdot \int e(t) dt \quad \text{Ec. 12-2}$$

El rendimiento de un control PID viene dado por el predictor de Smith para los regímenes de inspección de temperatura alcanza optimizar ampliando una gestión predictiva para remediar la tardanza de la contradicción del sistema a controlar (Hernández et al., 2014, p.47).

Un control PID siempre pronostica el comportamiento porvenir de un proceso por extrapolación lineal; en consecuencia, una buena predicción puede alcanzar la ejecución y desarrollo de un controlador, singularmente cuando en el transcurso despliega retardos como es común en el control de procesos. De igual forma los retardos se obtienen de un instrumento de retardo puro, causando por el transporte o el tiempo solicitado para los cálculos y la información requerida (Hernández et al., 2014, p.47).

2.2.8.2.

Tipos de controladores PID

Controlador proporcional

También llamada ganancia, con respecto a los sistemas de segundo orden el controlador manifiesta de forma proporcional a una señal de error, por si fuera poco, el error de cambio estacionario se comprime si se aumenta el total de la ganancia; por lo tanto, esto haría que la respuesta fuera más oscilatoria y acertada (Carrillo, 2011, p.189). El control proporcional viene dado de la siguiente ecuación:

$$G_c = \frac{b(s)}{E(s)} = k_p, \quad \text{Ec. 13-2}$$

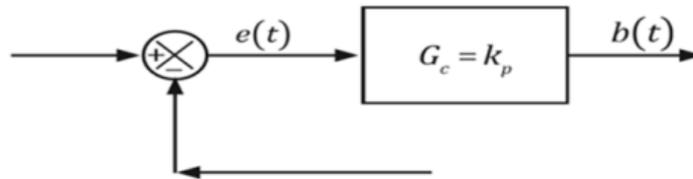


Figura 14-2: Controlador proporcional

Fuente: (Carrillo, 2011, p.189).

Control derivativo

El control derivativo responde muy bien a la referencia de variación de velocidad del error y produce una corrección de error antes que la magnitud sea demasiado grande, como indica la (figura 15-2) (Carrillo, 2011, p.89). Y viene representado de la siguiente ecuación:

$$G_c = \frac{b(s)}{E(s)} = sk_p \quad \text{Ec. 14-2}$$

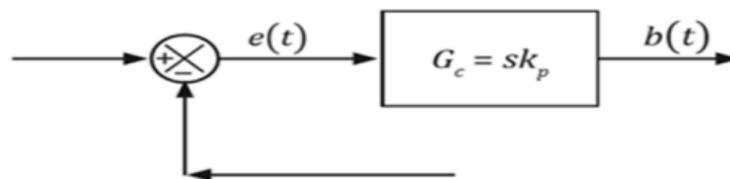


Figura 15-2: Control derivativo

Fuente: (Carrillo, 2011, p.190).

Control integral

El control integrativo descarta el error en estado permanente en contestación a un escalón unitario. Esto es una avance importante al controlador proporcional que se produce offset (error de fase estable en presencia del controlador proporcional) esto se visualiza de mejor manera colocándolo en un método de primer orden (Carrillo, 2011, p.190). El control integral viene dado de la siguiente ecuación:

$$G_c = \frac{b(s)}{E(s)} = \frac{k_p}{s} \quad \text{Ec. 15-2}$$

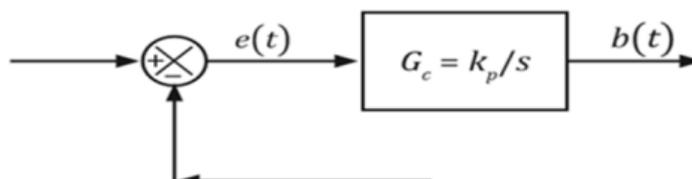


Figura 16-2: Controlador Integral

Fuente: (Carrillo, 2011, p.190).

2.2.9. Elementos del método de control

Etapa final de control

El componente final de un sistema son las válvulas predestinadas a regular el caudal del líquido

2.2.9.1. y transformando el área de pasaje interior de acuerdo a la marca de mando que viene del inspector. Las válvulas de revisión son manejadas por señales como pueden ser neumáticas, eléctricas e hidráulicas, desempeñan la función de operar la variable manipulada corrigiendo la variable controlada, existiendo en este proceso una resistencia deseada en el sistema (Cegelski et al., 2018, p.100).

Es importante recalcar dos propiedades funcionales de la válvula, entre ellas está:

- Coeficiente de descarga (Cv): caudal que es capaz de pasar por el tamaño de la compuerta cuando se tiene un desprendimiento de presión unitaria y el fluido es agua a temperatura ambiente, posiblemente peso específico unitario.
- Caudales Controlables: es la relación entre el caudal máximo controlable respecto del mínimo (Cegelski et al., 2018, p.101).

Tabla 1-2: Componentes de las válvulas automáticas de control

Característica	Descripción
Cuerpo	Elemento que contiene presión.
Guarnición	Elemento de control que comprende un obturador y su asiento.
Actuador	Fuente de potencia para posicionar el obturador.
Tapa	Es aquella que acopla el tronco al activador de la válvula.
Obturador y asiento	Mediante su elección se obtiene lo que es materiales normales y esenciales adecuados para la corrosión, características de causa y tamaño puede ser normal o reducido.

Fuente: (Cegelski et al., 2018, p.101).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

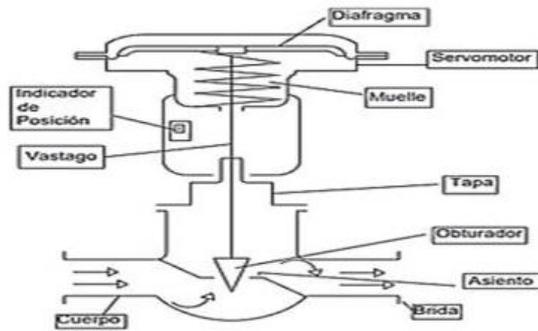


Figura 17-2: Representación de una válvula

Fuente: (Cegelski et al., 2018, p.102).

Si en un proceso se tiene interés para ver cómo responde el nivel, Smith y Corripio (1991, p.116), proponen la ecuación de la válvula, representada por la siguiente expresión:

$$q_{(t)} = C v_{(t)} * V p_{(t)} \sqrt{\frac{\Delta P_{(t)}}{S g}} \quad \text{Ec. 16-2}$$

Donde:

- $q_{(t)}$ Flujo volumétrico
- $C v_{(t)}$ Coeficiente de la válvula
- $V p_{(t)}$ Apertura de la válvula
- $\Delta P_{(t)}$ Diferencial de presión
- ρ Densidad relativa.
- $S g$ Gravedad

Se considera para el flujo de agua 1 válvula que contiene el sistema de inspección, mientras que los factores de válvulas en función de su tamaño son tomadas de un catálogo basado en Normativa ASME (EMERSON, 2018).

Diámetro: 4⁽³⁾ ..

Arranque de la válvula $C_v = 605 \text{ gpm}_{USA}$ al 100% de inicio.

Sensor de temperatura

En el rastreo de temperatura se provoca un tiempo muerto apropiado a circunstancias tales como la naturaleza de la variable a medir y la inercia que origina la vaina de resguardo del sensor. Por tales motivos, el sensor debe estar situado en un lugar tan cerca como sea posible de la superficie activa del intercambiador (Cegelski et al., 2018, p.283).

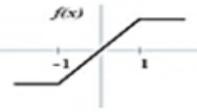
DELAY

Un delay cumple la función de retardo, es decir, el procesador espera el tiempo de ejecución mediante una instrucción durante una demora de tiempo en milisegundos especificado en el parámetro donde se establece un máximo 1000 y mínimo 1.

Las funciones de activación calculan el estado de actividad de alguna programación, entre las más usuales son:

- Identidad
- Escalón
- Tramos
- Sigmoidea

Tabla 2-2: Funciones de activación

	Función	Rango	Gráfica
Identidad	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
Escalón	$y = sig(x)$ $y = H(x)$	$[-1, +1]$ $[0, +1]$	
Lineal a tramos	$-1, si x < -1$ $x, si -1 \leq x \leq 1$ $+1, si x > 1$	$[-1, +1]$	
Sigmoidea	$y = \frac{1}{1 + e^x}$ $y = tgh(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	

Fuente: (Chafra, 2019, p.13).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Función escalón unitario

Una función escalón unitaria o función Heaviside se representa con la letra $u(t)$; y tiene un valor 1 para todo $t \geq 0$, y también un valor 0 para todo $t < 0$, se ilustra mediante la siguiente igualdad:

(Rodríguez, 2017, p.17).

$$u(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$$

A continuación, se representa de mejor manera mediante la subsiguiente (figura 18-2) del comportamiento de escalón unitario.

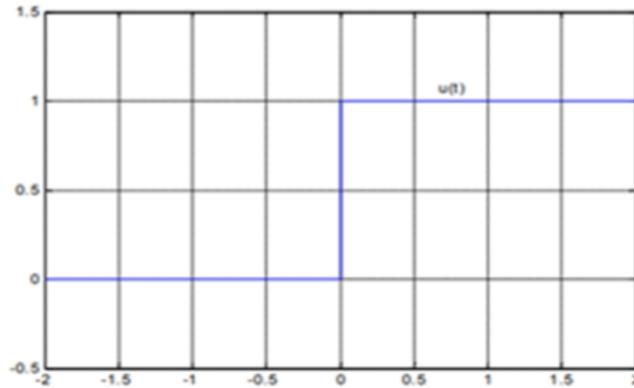


Figura 18-2: Función escalón unitario

Fuente: (Rodríguez, 2017, p.17).

Al aplicar un desplazamiento de valor $t_o \in \mathbb{R}$ a la función escalón unitario se obtiene lo que muestra la (figura 19-2):

$$u(t - t_o) = \begin{cases} 0, & t < t_o \\ 1, & t \geq t_o \end{cases}$$

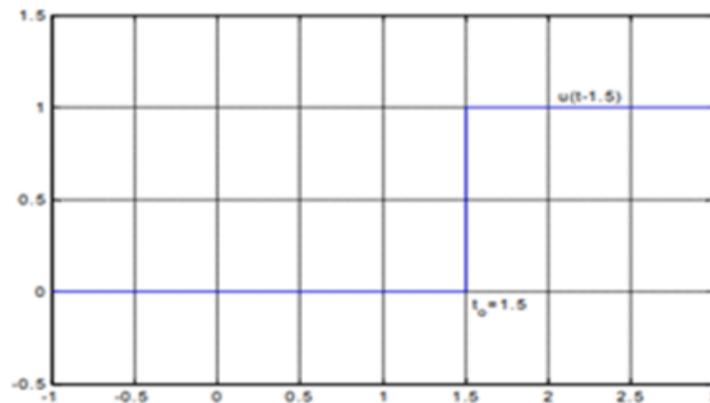


Figura 19-2: Función escalón unitario desplazado a $t=1.5$

Fuente: (Rodríguez, 2017, p.17).

2.2.9.3.

Controlador

Un controlador presenta tres gestiones debido al tiempo de respuesta lento entre ellas está la operación proporcional, integral y derivativo.

Proporcional: dependerán argumentos sobre la configuración del lazo de control y del rango de calibración del controlador.

Integral: tiene por objeto de corregir el error permanente que produce la acción proporcional cuando se realiza la variación de las variables.

Derivativa: esencial en procesos de este tipo, donde el tiempo de retardo suele ser grande cuando se producen cambios en las variables de proceso (Cegelski et al., 2018, p.283).

Transmisor

Es una de las herramientas que atrae la salida al sensor y la transforma en una señal muy intensa para transmitirla a una distancia al instrumento del controlador.

2.2.10. Lenguaje de programación

El programa desarrollado para el cumplimiento de los objetivos propuesto es MATLAB. Sin embargo, la simulación del intercambio calórico se desarrolla en Simulink/Matlab en un entorno grafico donde las constantes estarán implantadas en los bloques por otro lado, se utiliza la herramienta App Designer para el progreso y obtención de la interfaz gráfica.

Matlab

2.2.10.1.

Es una importante herramienta de programación matemático que entrega un ambiente de programación integrado permitiendo desarrollar interfaces de usuario por medio el uso de la APP DESIGNER/MATLAB, la cual permite diseñar un sistemas de control variable de forma global y eficiente como otros en diferentes software como es Java, Python, Aspen Hysys, entre otras (Álvarez, 2017, p.59).

De acuerdo con Montalvo (2019, p.8), menciona que Matlab es un programa (software) para cálculo numérico diseñado para trabajar con matrices, además es un lenguaje que integra cálculos, programación y visualización, también tiene una notación matemática fácil para entender. Entre las aplicaciones que ofrece Matlab son:

- Fórmulas matemáticas
- Algoritmos
- Gráficas
- Modelación
- Simulación
- Adquisición de datos
- Análisis de datos
- Exploración Visualización
- Aplicaciones con interfaz gráfica

Ventana principal de Matlab

La ventana principal del Matlab consta de 5 partes importantes y son las siguientes: barra de menú, barra de herramientas, ventana de comandos o editor de scripts, opciones y navegador de directorios. Entre todas estas ventanas cumplen una función principal y se detallan a continuación:

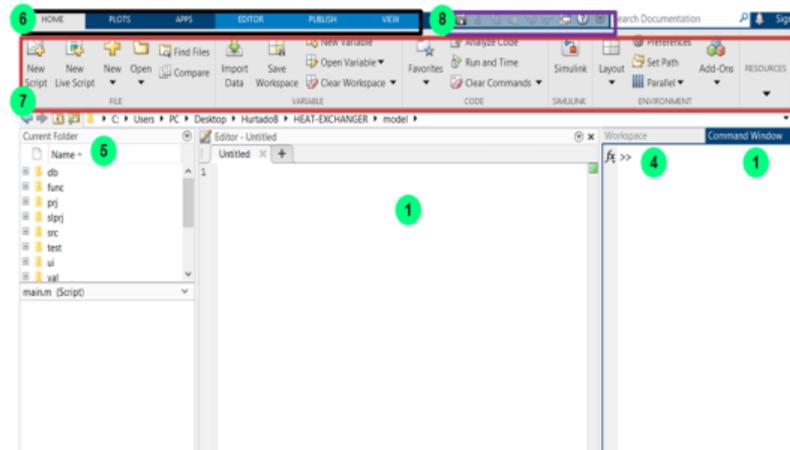


Figura 20-2: Ventana principal de Matlab

Fuente: Hurtado, Judith, 2021.

1. Command Window

En esta ventana se ingresarán los comandos necesarios para el sistema.

2. Command History

En esta ventana se visualiza un registro (log) de instrucciones que se ejecutaran en una sección de MATLAB actual y previas (Ataurima, 2013, p.13-15).

3. Interfaz

Es una ventana donde se recopila todos los comandos/códigos ordenados desde el script de Matlab, permitiendo ir configurando de acuerdo a la necesidad del usuario.

4. Workspace

Son grupos de variables creadas y almacenadas en la sección de Matlab. Cuando se utiliza funciones, el código de Matlab se ejecuta y se cargan en el workspace almacenados y se van añadiendo variables al workspace (Ataurima, 2013, p.13-15).

5. Current Folder

Es una ventana que proporciona los archivos cada vez guardados, dicho de otra forma demuestra carpetas y subcarpetas, el programa por defecto inicia con la que se usa frecuentemente de igual forma, en el lado superior derecho nos indica la ubicación de la carpeta y los archivos contenidos en ella (Ataurima, 2013, p.13-15).

A continuación se detalla la ventana principal de Matlab:

6. Barra de menús

Tabla 3-2: Características de las herramientas

Característica	Descripción
Home	Principales opciones para editar, comparar y programar.
Plots	Donde se puede seleccionar un diseño para ser graficado.
Shortcuts	Son accesos directos para los comandos de programación dicho de otra forma, es una forma de atajo rápido de ejecutar.
Publish	Presenta opciones para editar el programa ya realizado.
View	Muestra opciones de visualizar de la sistematización ya ejecutada en el editor.

Fuente: (Montalvo, 2019, pp.40-41).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

7. Bloque de equipos

Tabla 4-2: Características de la barra de instrumentos

Característica	Descripción
New script	Opción para realizar una nueva programación.
New	Opción para abrir una nueva programación.
Open	Sirve para abrir un nuevo documento de Matlab.
Find Files	Opción para encontrar algún documento.
Compare	Ayuda a comparar entre dos Script.
Save workspace	Realiza la opción de importar datos guardados.
Clear workspace	Opción de limpieza de líneas de programación realizadas.

Fuente:(Montalvo, 2019, pp.41-43).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

8. Barra de herramientas

Las opciones se puede visualizar en la (figura 20-2) en la parte superior derecha de la figura mencionada y entre ellas está: Cut (cortar), copy (copiar), past (pegar), save (guardar), shortcuts (acceso directo), undo (atrás), redo (adelante), help (ayuda) (Montalvo, 2019, p.44).

Ventanas de comandos

La ventana de comando se encuentran localizado en la pieza céntrica de la pantalla de Matlab como muestra la (figura 20-2) viene dado de la forma $f(x) \gg$. Igualmente, la ventana de comandos permite escribir dichos comandos para realizar cualquier simulación pulsando <intro> (ENTER), si por algún motivo sucede algo con la programación y quiere suspender utilice el comando <ctrl> + <c> (Montalvo, 2019, p.44).

Navegador de directorios

La ventana del navegador Current Folder es utilizada para mostrar documentos almacenados en el directorio actual. Tiene una apariencia análoga al que se localiza en el buscador de Windows.

Simulink

2.2.10.3.

Es un entorno gráfico interactivo para el modelado, análisis y simulación de una gran variación de métodos dinámicos (discreto, analógico e híbrido) mediante la utilización de esquemas de elementos que nos ayuda a visualizar de mejor manera. También, permite la incorporación de los algoritmos y controles que se hayan desarrollado en C previamente a la utilización de Simulink (totalmente integrado con MATLAB) (Pérez, 2002, p.7).

Por otra parte, brinda un editor representativo con variedad, librerías de elementos individualizados y solucionadores para el ajuste y representación de métodos dinámicos. El usuario desarrollada un programa con los bloques de las librerías, de forma gráfica para realizar operaciones matemáticas y encontrar soluciones para diferentes modelados que se propone simular (Ahlersten, 2012; citado en Montalvo, 2019, pp.8-9).



Gráfico 1-2: Elementos de un modelo de Simulink.

2.2.10.4. **Realizado por:** Hurtado, Judith, 2021.

Librerías de Simulink

Simulink Library Browser (SLB), es una biblioteca como lo indica la (figura 21-2) se visualiza una librería de bloques disponibles para cualquier programación que van organizado en grupos y hasta subgrupos para cada utilidad (Báez et al., 2018, p.104).

A continuación, presentamos las librerías más destacadas que ofrece Simulink:

- Discrete
- Math
- Continuous
- Sinks
- Function Matlab
- Sources
- Signals & Systems
- Subsistemas

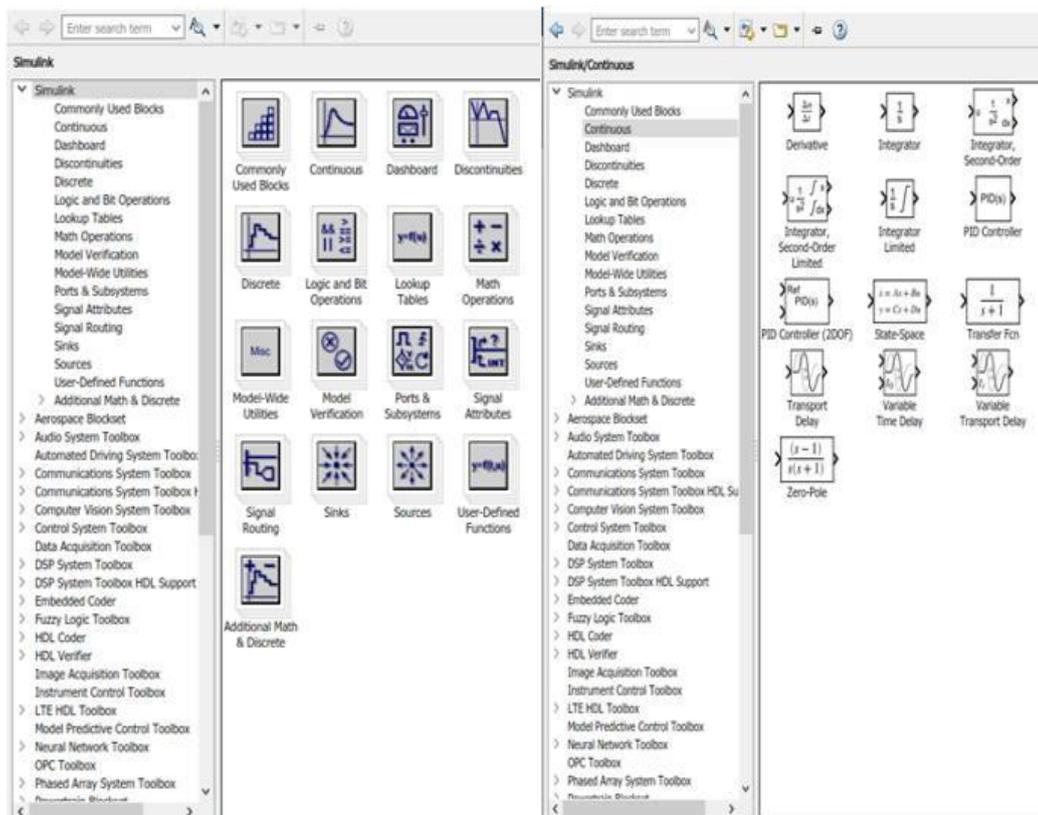


Figura 21-2: Simulink Library Browser

Fuente: (Báez et al., 2018, p.104).

A continuación, detallamos algunos bloques utilizados:

Tabla 5-2: Características instrumentales

Nombre de bloque	Descripción
PID Controller	Su función principal es controlar determinadas variables. Y se puede implementar (PID, PI, PD, P o solo I)
Out port	Su función es crear un puerto con el propósito de trasladar los resultados hacia otro objeto.
Mux	Su objetivo principal es armonizar señales de entrada con el mismo paradigma de términos con el motivo de emitir un signo al final.
Add	Su función principal es añadir entradas ya sea el caso de sumar o restar.
Scope	Su finalidad es demostrar señales creadas durante toda la simulación mediante la representación de gráficos.
Step	Su función principal es expresar un valor como una variable o una constante en general.

Fuente: Hurtado, Judith, 2021.

2.2.11. Interfaces gráficas de Matlab

Una interfaz gráfica es un ambiente de sistematización óptico para el desarrollo y confeccionar presentaciones que permite al usuario la utilización dinámica de la interfaz. MATLAB dispone principalmente mediante 3 procesos para el desarrollo:

- Funciones de MATLAB
- GUI
- App Designer.

Para el transcurso de la gráfica en el presente proyecto se utilizó la herramienta App Designer que nos facilita una librería de comando con la intención de ser un programa más dinámico.

App Designer

La aplicación App Designer es un entorno de trabajo gráfico a fin de ejercer un mayor control sobre el diseño y el progreso sobre la interface gráfica. Por otro lado, para el acceso a App Designer tenemos dos maneras de ingreso y se puede visualizar en la consecutiva (figura 22-2) (Gil, 2018, p.13):

- Escribir la palabra "App Designer" en el command de MATLAB.
- HOME de Matlab, seleccionamos "New", "App" y final "App Designer".

A continuación, se observa la pantalla principal de App Designer que detallamos los botes principales a continuación:

- Barra instrumentales:** en esta ventana nos presenta dos pestañas fundamentales como son DESIGNER (ayuda y compila el ejecutable) Y CANVAS (guarda elementos seleccionados)
- Component Library:** es una sección con una variedad de componentes para el desarrollo de la interfaz gráfica.
- Designer editor:** es una plantilla donde vamos a colocar únicos componentes para construir la aplicación.
- Component Browser:** divide en dos secciones entre ellos son: árbol de ubicación (son elementos que se van agregando al Design editor) y component Properties (podemos modificar algunos objetos como es el tipo de letra, alineación, tamaño entre otras).
- Pestaña Code View:** provee la visualización de códigos donde pueden ser modificables o no modificables obedeciendo las condiciones que desea ejecutar a la aplicación.

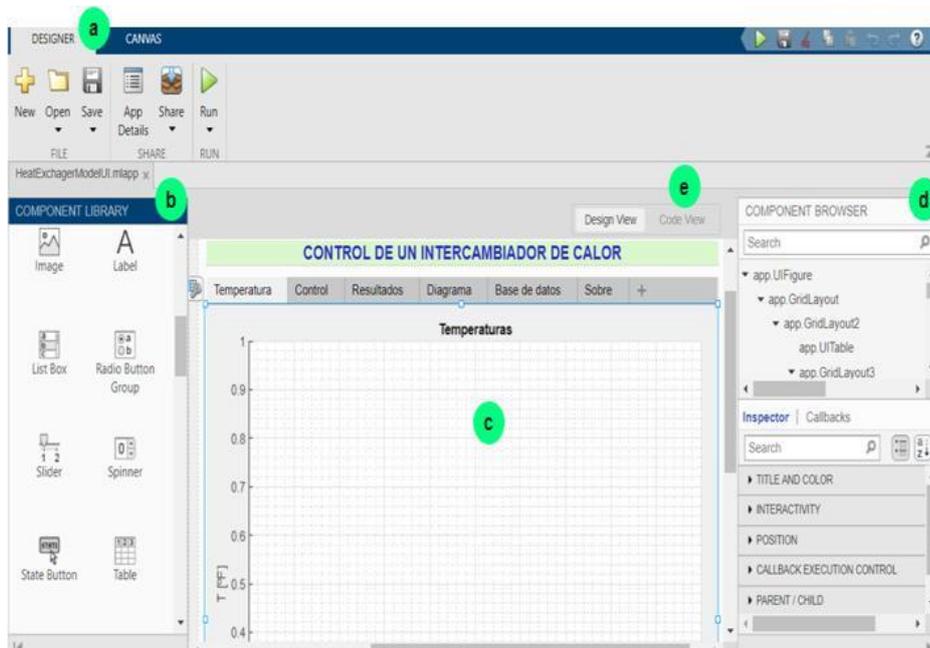


Figura 22-2: Entorno de compromiso de la herramienta App Designer

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Componentes

A continuación, una breve descripción y sus propiedades más importantes de component library que se detalla en la presente (tabla 6-2):

Tabla 6-2: Descripción de los elementos de la herramienta App Designer

Componentes	Descripción
Check box	Muestra el estado de una elección o atributo dicho de otra forma, es un elemento de control utilizada para la interfaz.
Edit Field	Muestra el valor en un formato de visualización numérica.
Pop-up menú	Provee una lista de opciones.
Spinner	Nos ayuda a verificar que el dato introducido sea correcto.
List Box	Muestra una lista deslizable.
Push Button	Invoca un evento inmediatamente.
Radio Button	Demuestra una elección para que el botón se comporte como una opción y también pueda ser utilizado cuando se tiene dos componentes ópticas.
Toggle Button	Desarrollada en dos estados “on” o “off”, es empleado para las opciones que puedan ser activadas normalmente.
Slider	Usado para imaginar un rango de valores, consiste en indicar distintas gráficas que van fluyendo unas sobre otras.
Static Text	Sirve para añadir un texto a un control de sección o para especificar una plataforma dentro de una componente.
Panel Button	Agrupar botones como un grupo.
Button Group	Consiste exclusivamente en la elección de herramientas para obtener componentes más complejos.
Table	Es utilizada para representar datos mediante una matriz.
Drop Down	Nos da la opción de seleccionar varias opciones.

Fuente: (Barragán, 2008, p.5).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

2.2.11.3.

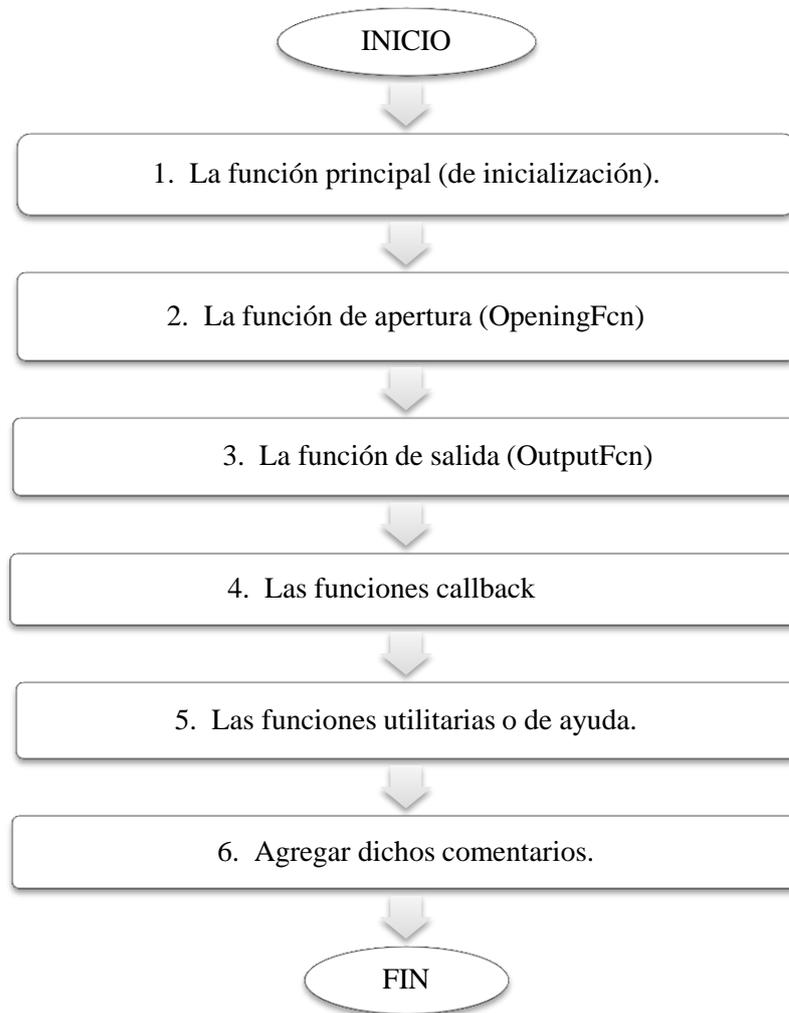


Gráfico 2-2: Estructura de un archivo .m

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

2.2.11.4.

Códigos internos de programación.

Handles

Es la memoria que almacena unas de las participaciones de los objetos en una GUI. Estas propiedades tienen valores que se crean al tiempo que el usuario crea el objeto. Al variar con alguna propiedad de un objeto como su tamaño, es necesario cambiar la memoria de handles.

Str2double

La función (String to double) por una parte, es aquella que convierte un formato tipo string (código ASCII) a un formato numérico de doble precisión. Por otra parte, con esta sentencia se convierten los valores de entrada introducidos por el usuario para poder ser operados.

Plot

Matlab es un software que nos presenta una herramienta de plot dentro de la UI, sin embargo, ofrece una serie de funciones de dibujo y visualizaciones dentro y fuera del campo de datos, como es el caso de *im show* o *plot*, por ejemplo, llamamos a una función gráfica adquirida se debe colocar objetos como ventanas que nos presenta y ejes de ordenada entre otras.

2.3. Marco Legal

Los depósitos no deseados en las superficies afectan a casi todas las plantas químicas, principalmente relacionados con la conservación de energía (quema combustible), operación (pérdida de producción) e inversión de capital (equipos sobredimensionados). Además de aumentar la resistencia al traspaso calórico y, en medio de, conducir a la reducción del calor (Borges, Carvalho y Ravagnani 2018, p.2).

El presente proyecto de titulación se desarrolla mediante un modelo matemático para la simulación y control de un intercambio calórico de tipología tubos y coraza, bajo normas establecidas como son: Código ASME y Norma TEMA que detalla a continuación:

2.3.1. Código Asme y Norma Tema

2.3.1.1. Asme (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)

Es una norma que establece un conjunto de reglas, delimitaciones y técnicas de diseño esto se basa en la fabricación y notificación de recipientes sometido a presión. La División I, que forma parte de la Sección VII de la ASME, es un compendio de normas de diseño para las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión (Llangarí y Solís, 2012, p.23).

Por otra parte, es el más empleado en el esquema de intercambiadores calóricos donde se encuentra constituido mediante un grupo de normas, especificaciones, fórmulas de diseño y criterios que permite construir un equipo óptimo y eficientes para las características del procesos y operatividad en la planta. La concentración de este símbolo, pretende un extenso razonamiento del creador para la ejecución atenta en el diseño en el diseño (Martínez, 2017, p.25).

El código Asme demuestra todo lo referente al diseño y operación por otro lado está compuesto por XI secciones, de las cuales la sección VIII aplica exclusivamente a los depósitos a presión. A continuación, se hace una descripción de las secciones VIII, división I: (Martínez, 2017, p.30).

Consta de tres subsecciones:

Requisitos generales

Requisitos a los métodos de diseño y fabricación de los receptáculos sometidos a presión.

Condiciones relativos a las variedades de instrumentos.

- **Subsección A**

Más conocida como la parte UG y presenta requisitos mínimos referente a esquemas, hendiduras y refuerzos de respiro de presión (Martínez, 2017, p.25).

Materiales – UG-4 a UG-15; requisitos que se debe cumplir los tipos de materiales.

Diseño – UG-16 a UG-35; el espesor mínimo para corazas y tapas 1/16”.

Aberturas y refuerzos – UG-36 a UG-46; aberturas que se necesitan para las boquillas en las corazas y cabezas.

Superficie fortalecida – UG-47 a UG-50; presenta ecuaciones de cálculo para la superficie y dimensiones de pernos.

Ligamentos – UG-53 a UG-55; tipos de placas perforadas.

Fabricación – UG-75 a UG-85; caracterización de materiales.

Inspección y prueba – UG-90 a UG-103; se ejecuta en el transcurso de la fabricación.

Estampado y reportes – UG-115 a UG-120; son requisitos para que el componente elaborado recoja su pertinente estampado.

Instrumento de consuelo de presión – UG-125 a UG-136; demuestra cada tipología que debe ejecutar dichos aparatos.

- **Subsección B**

Presenta requisitos mínimos para los sistemas de producción.

Parte UW: son exigencias por soldadura de envases sujetos a presión.

Parte UF: consta en la fabricación de receptáculos sometidos a presión.

Parte UB: Presenta los requisitos de fabricación por soldadura no ferrosa para los depósitos dominados a presión (Narváez, 2008, p.20).

- **Subsección C**

El código trata a los materiales de construcción de los depósitos dominados a presión.

Parte UCS: depósitos sometidos a presión hechos en aceros al carbón y de disminución combinada.

Parte UNF: presenta obligaciones hacia depósitos a presión de materiales no ferrosos.

Parte UMA: son recipientes sometidos a presión edificados de aceros de alta fusión.

Parte UCI: presenta las restricciones a envolver los depósitos edificados de metal derretido.

Parte UTH: receptáculos dominados a presión hechos de acero ferrítico de alta resistencia a la tensión; complementa con tablas de valores admisibles del diseño (Martínez, 2017, p.27).

Tema (Tubular Exchanger Manufactures Association)

La normativa TEMA tiene como propósito ajustar los discernimientos de diseño y producción. Su principal motivo es ordenar los criterios de un intercambiador los componentes que establecen la edificación sistematizados por TEMA que corresponden a diversas condiciones de funcionamiento.

Finalmente, existen tres letras para descripción de las medidas del intercambiador, primera otorga al tipo de cabezal permanente disponible, segunda el prototipo de coraza y última el tipo de cabezal extremo (Llangari y Solís, 2012, p.12).

En consecuencia, la presentación radical de estos dispositivos se muestra mediante lo siguiente:

Diámetro de la coraza / Distancia de tubos Ccc

Donde:

Ccc: son las letras que lo define.

• **Nomenclatura**

Presenta de manera normalizada para cada tipología de intercambio de calor como son cabezales anteriores; estacionarios o flujos, tipos de carcaza y cabezales posteriores. Como indica la (figura 23-2) a continuación:

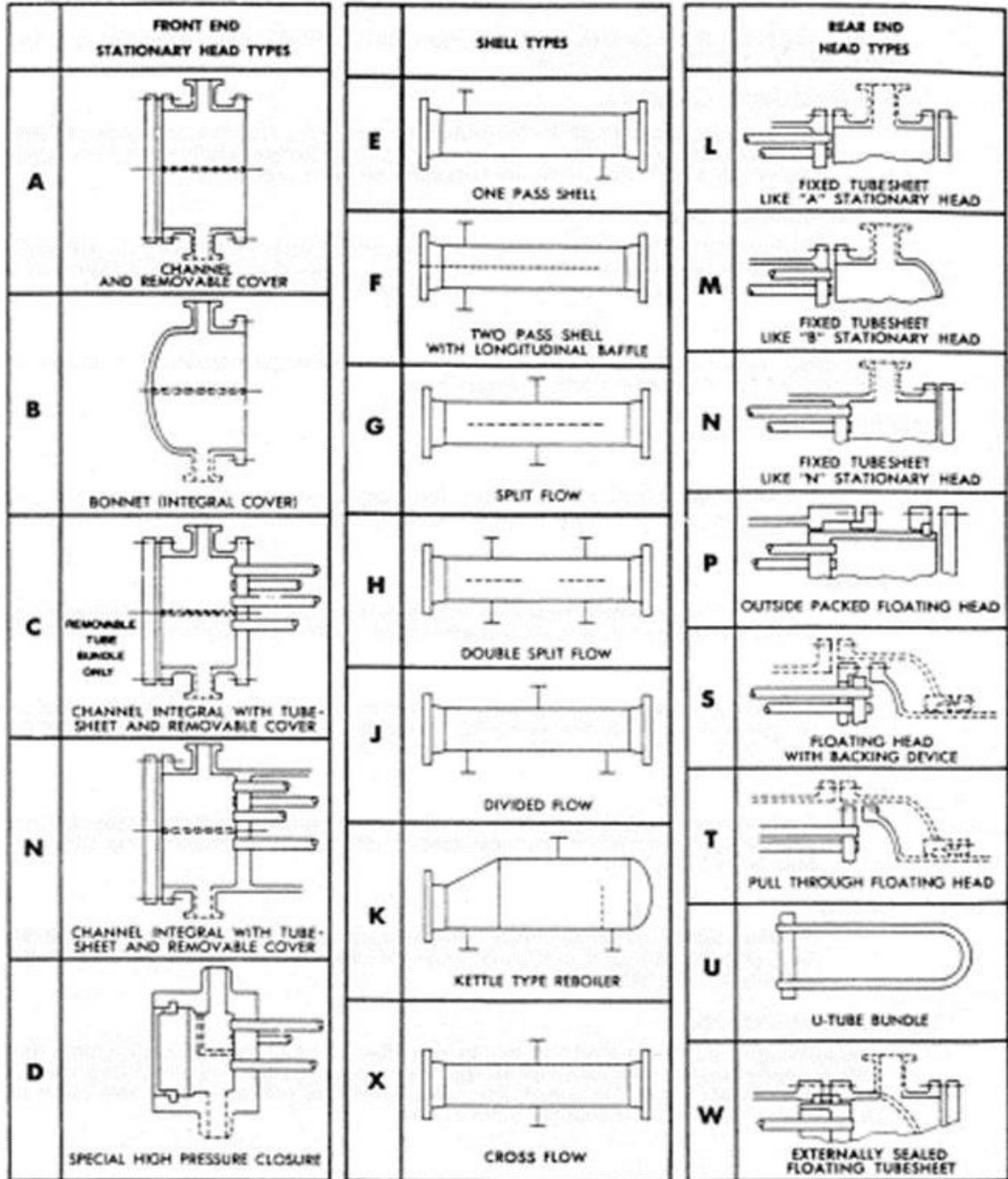


Figura 23-2: Cabezales y corazas de un intercambiador coraza y tubo

Fuente: (Harrison, 1999, p.2).

La norma TEMA trata lo relacionado al intercambio calórico de tubos y coraza. Su contenido es el siguiente:

N: Nomenclatura

F: Tolerancias de fabricación.

G: Producción frecuente e investigación de funcionamientos.

E: Fundación, evolución y sustento.

RCB: Medidas de trabajo del TEMA hacia los intercambiadores de tipo RCB.

V: Vibración inducida por flujo

T: Relaciones Térmicas

P: Propiedades físicas de fluidos

D: Información general

RGP: Recomendaciones Prácticas (Martínez, 2017, p.28).

Nomenclatura (N): presenta de manera normalizada.

Tolerancia de Fabricación (F): establece tolerancias admisibles en la construcción.

Fabricación en general e información de funcionamiento (G): inicia con una hoja de datos necesarios que deben suministrarse para lograr el diseño adecuado.

Instalación operación y mantenimiento (E): Señala que la correcta instalación y el mantenimiento preventivo son responsabilidades del usuario.

Normas mecánicas del TEMAS hacia el intercambio calórico (RCB): indica la presión de esquema, pruebas, temperaturas del metal y normas aceptables de quemadura. La afinidad a los tubos describe sus distancias, diámetros y calibres, los espaciamientos y tipos de ajustes.

Vibración provocada por flujo (V): muestra el inconveniente de la inducción de oscilaciones por el flujo es muy complejo.

Relaciones Térmicas (T): cumple el estudio de problema térmico, mediante la relación hacia el intercambio calórico y valor de la capacidad global de traspaso de calor.

Participaciones físicas de fluidos (P): suministra un profundo conjunto de datos en representación gráfica y tabular de fluidos muy significativos, esencialmente hidrocarburos.

Información general (D): información sobre dimensiones de tubos y conexiones. También se proporcionan tabla de conductividades térmicas de metales y coeficiente medios de expresión.

Designación del traspaso calórico de tubos y coraza

Clase R (asistencia de refinería): intercambiadores de calor que manejan en la fabricación del petróleo y los procesos equivalentes.

Clase C (asistencia general): traspaso de calor que operan en procesos contenidos comerciales y generales.

Clase B (servicio químico): incluye intercambiadores de calor para procesos químicos (Martínez, 2017, p.30).

2.3.2. *Software con uso de licencia*

Tabla 7-2: Marco legal referentes al uso de software

NORMATIVA	OBSERVACIÓN
<p>Reglamento Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación (2016).</p>	<p>Tramo Primero Programas de reglamento cerrado y base de datos. Art. 131.- Protección de software: El software se protege como una obra literaria. Dicha resguardo se otorga libremente de que posean concentrados en un computador y sea la representación en que consten pronunciados, ya sea como código fuente; es decir, en forma comprensible por máquina ya sea sistemas ejecutivos o sistemas aplicativos. Art. 132.- Aplicaciones precisos para el manejo de software: Sin disminución de los derechos morales del escritor, el titular legal mediante la disposición de un software, o el propietario u otro legítimo de un ejemplar del programa, conseguirá realizar las conciliaciones importantes para la utilización del mismo siempre que ello no involucre su utilización con fines necesarios. Tramo Segundo. Art. 150.- Privacidad de software: En la ganancia de software queda indebido la instalación de oficiales o mecanismos que consientan extraer investigación de la entidad contratante sin la legalización y comprensión del establecimiento. Art. 151.- Libre deliberación de software: Los beneficiarios tienen derecho a la libre votación del software en dispositivos que acepten más de una técnica ejecutiva.</p>

Fuente: (Asamblea Nacional del Ecuador, 2016, p.44)

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

MATLAB es uno de los programas que requiere licencia para utilizarlo dentro del Ecuador. Con la infraestructura Campus-Wide Licencia, todo el profesorado y el alumno del campus tienen acceso a Matlab, Simulink y diversas toolboxes. Asimismo, la construcción Campus-Wide Licencia suministra un uso considerable de los servicios de la herramienta Matlab/Simulink a todo el magisterio, el personal y los intelectuales, dentro y fuera del campus, en cualquier punto de conexión (MathWorks, 2020a). Posteriormente, en los proyectos interdisciplinarios los usuarios con experiencia académica muy distinta pueden favorecer con mayor desenvoltura debido a que manejan las mismas herramientas instrumentales que el software nos presenta (MathWorks, 2020b).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

El objetivo del presente capítulo se realiza mediante el despliegue de etapas, la metodología a desarrollar se basa a través del estudio de masa y energía, obtención de ecuaciones, etc. Obteniendo así el modelo dinámico del traspaso calórico.

3.1. Etapas de la metodología

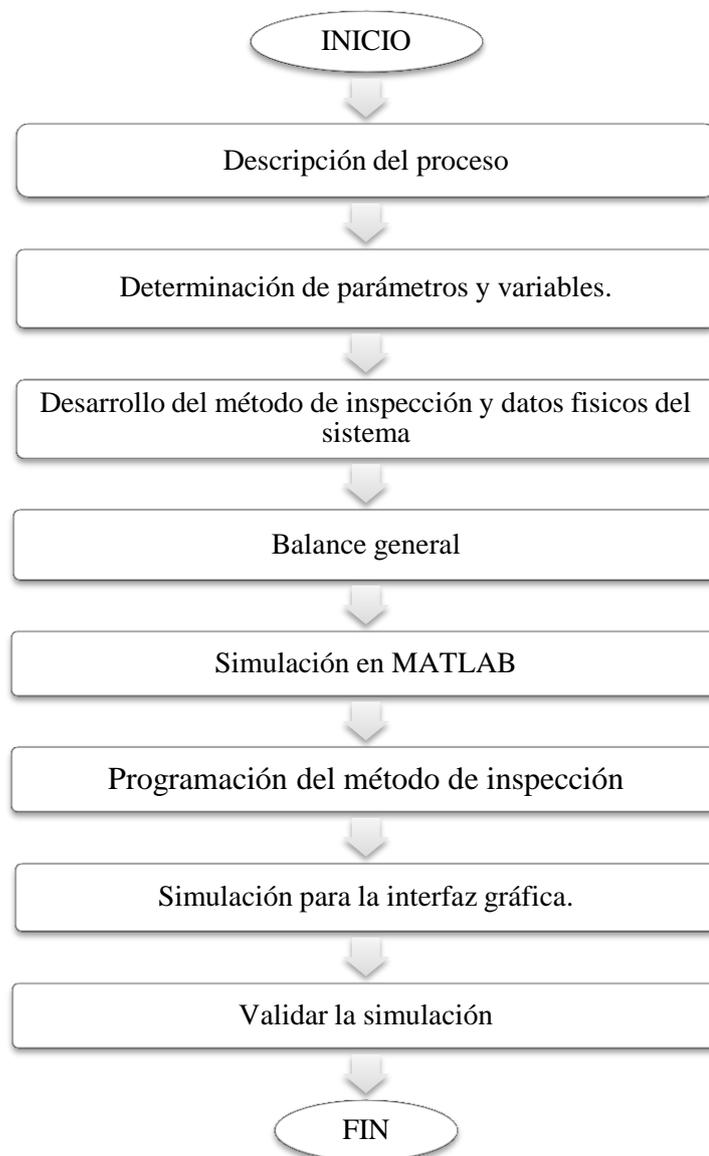


Gráfico 1-3: Pasos de la Metodología

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Por medio del manejo del presente proyecto de Integración Curricular, se enfoca en el desarrollo de un intercambio de calor tipo tubos y coraza con el propósito de obtener un modelo dinámico. Por otro lado, se controla la temperatura final de agua fría, por ende, se manipula el vapor por medio de un sensor, controlando la cantidad de calor transferido al fluido frío. Posteriormente, se programa contra el beneficio de una herramienta de sistematización MATLAB para su funcionamiento y validación.

Finalmente, se desarrolla una interface gráfica de beneficiario (APP DESIGNER), para proporcionar una variación y comparación de gráficas determinando a su vez su confiabilidad y grado de error que nos presenta dicha programación.

Mediante las fuentes bibliográficas más importantes del presente proyecto de Integración Curricular se destacan a continuación:

Fuente Primaria

Conocimientos obtenidos por el autor a partir de simulaciones en MATLAB y procesamiento de datos empleando.

Fuente Secundaria

Se basa en una extensa investigación relevante en diferentes fuentes de información, entre ellos están:

- Artículos científicos
- Biblioteca virtual de la ESPOCH
- Libros digitales.
- Trabajos de graduación, posgrados entre otras, relevante al tema de investigación.
- Sitios web confiables.

3.2. Descripción del proceso

De acuerdo al presente proyecto de integración curricular se enfoca en el estudio de un intercambiador de calor tipo coraza y tubos, con el objetivo de transferir calor entre dos fluidos a diferentes temperaturas. Sin embargo, el intercambiador tipo coraza y tubos es el más utilizado a nivel industrial. Por otra parte, se utilizará el lenguaje de programación MATLAB/APP DESIGNER, con el propósito de obtener una interfaz gráfica y poder controlar la temperatura de salida del fluido del proceso.

3.2.1. Modelo matemático del proceso

El modelo algebraico de un intercambio calórico varía de acuerdo la elección de variables de entrada (manipulada) y salida (controlada) para así obtener un modelo de primer o segundo orden. Desde otra perspectiva, el modelamiento da a conocer el comportamiento del proceso mediante ecuaciones matemáticas, por ende, se desarrolla por completo las ecuaciones de intercambio calórico para así obtener su función. Sin embargo, un intercambiador de calor se maneja el fluido que absorberá calor al otro fluido y lo que trata determinar aquí es la temperatura final del líquido.

3.3. Determinación de las variables



Figura 1-3: Variables de un intercambiador de calor

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Donde:

- F_F Flujo de agua fría (**Variable manipulada**).
- F_V Flujo de vapor.
- T_V Temperatura de vapor (**Variable perturbada**).
- T_{CS} Temperatura de salida de agua caliente.
- T_{FE} Temperatura de entrada de agua fría.
- T_{FS} Temperatura de salida de agua fría (**Variable controlada**).
- ρ Densidad.

3.3.1. Parámetros del modelo

Tabla 1-3: Parámetros del intercambio calórico

Parámetros	Símbolo	Magnitud	Unidades
Temperatura de entrada del agua	T_e	80	°F
Temperatura final del agua	T_s	185	°F
Flujo	Q	224	gal/min
Presión	P	150	lb/pulg ² abs
Capacidad Calorífica	Cp_w	1000	BTU/h ft °F
Conductividad térmica	y	26	BTU/h ft °F

Fuente: (Paredes y Barros, 2015, p.3).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 2-3: Propiedades del fluido que intervienen en el proceso

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidades SI	Valor	Unidades Campo
Peso molecular de agua	m_{H2O}	18.0153	g/mol	18.0153	g/mol
Peso molecular de gas	m_{GAS}	18.02	g/mol	18.02	g/mol
Densidad del agua	ρ_w	997.8	kg/m ³	62.29	lb/ft ³

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

3.4. Desarrollo del sistema de control y datos físicos del sistema

Para el uso que se desea dar al intercambio calórico se requiere controlar la temperatura final del agua fría, este flujo de vapor se puede emplear en un método de calentamiento, por lo cual se emplearía la energía del líquido para calentar el aire del entorno. Para inspeccionar la temperatura del líquido frío a la salida, se manejará el flujo de agua por medio de una válvula controlando la cantidad de agua transferido por medio de la temperatura de vapor.

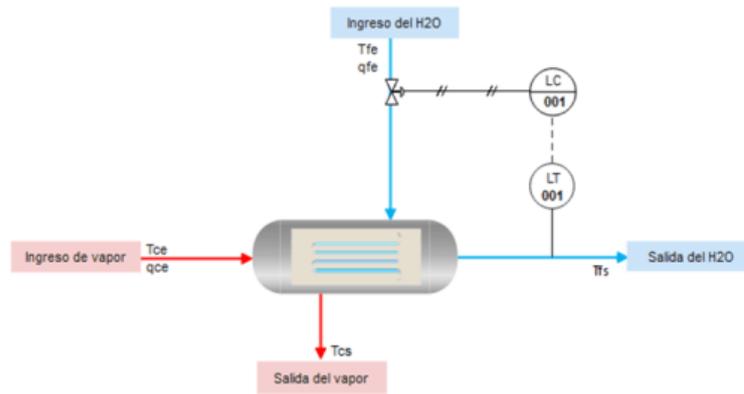


Figura 2-3: Diagrama P&ID de un intercambio de calor

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

El proceso por estudiar se refiere al intercambio calórico tipo coraza y tubos con el propósito de calentar el fluido que se procesa. Sin embargo, el método de control de un intercambio calórico censa la flujo el salida (F_{sal}) con el apoyo de un transmisor de nivel (LT) luego se envía una señal eléctrica al control de nivel (LC) se ingresa el valor de temperatura requerida al set point (controlador) y para finalizar se envía una señal eléctrica a la válvula que regulará el nivel (q_{ent}).

Por si fuera poco, los métodos de inspección de un intercambio calórico cuando se habla de control lo podemos hacer de dos formas de manera automática o de manera manual. Comenzando primero por el procedimiento de inspección manual como se puede visualizar en la (figura 3-3) el funcionamiento de la consecutiva condición por los tubos va fluir agua fría que va ser calentada para salir como agua caliente pero como se logra esto, se logra mediante el ingreso de vapor por lado de la carcasa a alta temperatura por conducción y convección a través de la extensión de la carcasa va a transferir calor hacia al agua y pueda salir como agua caliente. Este proceso debe ser controlado mediante cuatro actividades, primero el operador debe observar el sensor de temperatura y medir, segundo comparar la temperatura con el valor deseado para determinar si el valor esta por encima o por debajo del valor esperado, tercero cuando el operador determina que el valor no es deseado debe realizar los cálculos para realizar las acciones correctivas y en está ocasión se debe controlar en sí es la válvula, esta válvula es la que controla el fluido de líquido frío para variar la temperatura del método aunque el operador termina y mide la temperatura y mira que no es la deseada debe realizar los respectivos cálculos y abrir o cerrar la válvula que controla el fluido de agua fría hasta que se logre la temperatura deseada. Donde podemos concluir que es un proceso válido pero un poquito fatigoso.

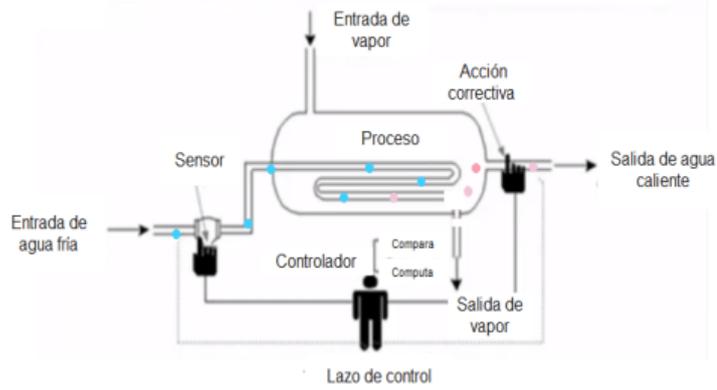


Figura 3-3: Representación del control manual

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Es por ello que esta es la otra manera de realizar un control automático a un sistema de intercambio calórico como se puede visualizar en la (figura 4-3) el cual va ingresar por los tubos agua fría que va ser calentada para salir como agua caliente pero como se logra esto, se logra mediante el ingreso de vapor a alta temperatura por el sector del armazón, tomando en cuenta el controlar el fluido de agua fría mediante una válvula que influirá el vapor que ingresa al sistema lo cual va ser que altere la temperatura final. Mediante las cuatro acciones que realiza un controlador manual en este caso lo va hacer un controlador automático que no necesita la intervención de un operador. En este esquema vamos a tener una válvula electrónica que va a recibir la medida del flujo que va a pasar para decidir abrir o cerrar la llave con el objetivo de mantener que el sistema logre la temperatura deseada.

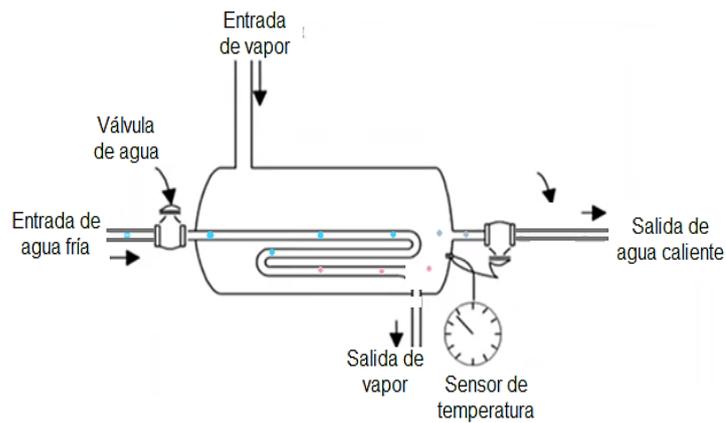


Figura 4-3: Representación del control automático

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

3.4.1. Datos Físicos del sistema

Tabla 3-3: Datos físicos del intercambiador de calor

Parámetros	Símbolo	Magnitud	Unidades
Largo del intercambiador	L	9	ft
Diámetro de coraza	D_o	17 ¼	in
Número de tubos	N_t	112	----
Diámetro exterior de tubo	D_e	¾" con un claro entre tubos de 0.63"	in
Factor de obstrucción interno	R_i	0,0012	$hft^2\text{°F}/BTU$
Factor de obstrucción externo	R_o	0,001	$hft^2\text{°F}/BTU$
Factor global de traspaso de calor	U	650	$BTU/hft^2\text{°F}$
Área de traspaso de calor	A_{TCO}	197.9203	in^2
Capacidad calorífica	C_p	1	$BTU/h ft \text{°F}$

Fuente: (Paredes y Barros, 2015, p.3).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 4-3: Especificaciones del equipo Intercambiador de calor

Parámetro	Especificaciones
Material de la coraza	Acero al carbón
Material de los tubos	Acero inoxidable

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 5-3: Parámetros empleados para el método de inspección

Parámetro	Valor	Unidades SI	Valor	Unidades Campo
Coficiente válvula de agua (4 ⁽³⁾ pulgadas)	5.54e-6	$m^3/s Pa^{0.5}$	1.3479	$ft^3/s Psi^{0.5}$
Presión válvula de agua	101325	Pa	14.7	Psi

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

3.5. Balance General

A continuación, se presenta las ecuaciones que se utilizarán para el modelo dinámico de un intercambio calórico de tipo tubos y coraza.

3.5.1. Balance de masa del intercambiador

$$\sum (\dot{m})_{entrada} = \sum (\dot{m})_{salida}$$

$$\dot{m}_e - \dot{m}_s = \frac{dmV_c}{dt}$$

$$\rho = \frac{\dot{m}}{V}$$

$$\frac{dmc}{dt} = \rho v_{ec} - \rho v_{sc}$$

3.5.2. Balance de energía del intercambiador

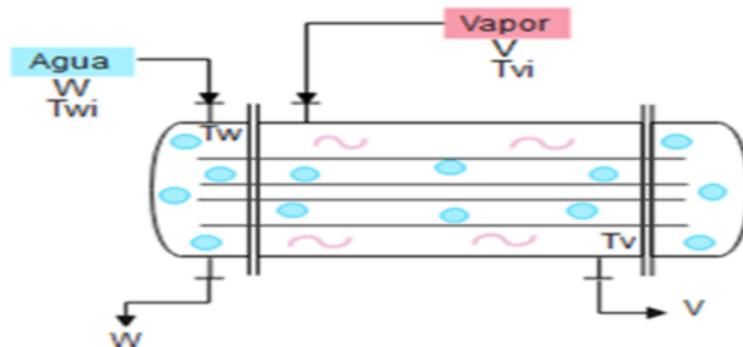


Figura 5-3: Representación gráfica de un intercambiador

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Como se puede visualizar en la (figura 5-3) una representación gráfica de un intercambio calórico tipo coraza y tubos por lo tanto, el interior de la tubería va a fluir agua W con su respectiva temperatura de entrada T_{wi} y por otra parte de la coraza va a ingresar vapor V con su respectiva temperatura T_v y así obtener la temperatura final del líquido frío T_w .

Donde:

T_w	Temperatura de agua fría	°F
T_{wi}	Temperatura de entrada del agua fría	°F
T_v	Temperatura de vapor	°F
T_{vi}	Temperatura de entrada del vapor	°F

$$E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} = \text{Acumulación}$$

$$E_e - E_s = \frac{dE}{dt}$$

$$H_{ec} - H_{sc} - Q = \frac{dVc}{dt} \quad \text{Ec. 1-3}$$

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta t_o - \Delta t_i}{\ln\left(\frac{\Delta t_o}{\Delta t_i}\right)}$$

$$q_{HT} = UA_{TC} \left[\left(\frac{T_v + T_{vi}}{2} \right) - \left(\frac{T_w + T_{wi}}{2} \right) \right]$$

$$\text{AMTD} = \left(\frac{tp_i + tp_o}{2} \right) - \left(\frac{ts_i - ts_o}{2} \right)$$

$$q_{HT} = \frac{UA_{TC}}{2} (T_v + T_{vi}) - \frac{UA_{TC}}{2} (T_w + T_{wi})$$

Donde:

W	Flujo de agua fría	$\frac{lb}{s}$
V	Vapor	$^{\circ}F$
C_p	Capacidad Calorífica	$\frac{BTU}{lb.^{\circ}F}$
ρ	Densidad	$\frac{lb}{ft^3}$
UA	Factor de traspaso del calor	$\frac{BTU}{s.ft^2.^{\circ}F}$
A_{TC}	Área de traspaso calórico	ft^2

$$W_{in} = W_{out} = W$$

$$V_{in} = V_{out} = V$$

A menudo asumimos contenido caliente es constante o calculada a una temperatura media:

$$H_{(T)} = C_p(T - T_{ref}) \quad \text{Ec. 2-3}$$

Por consiguiente, el cálculo de energía queda representado de la presente forma:

$$\rho w V_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = w_{in} C_{pw} (T_{win} - T_{ref}) - w_{out} C_{pw} (T_{wout} - T_{ref}) + q_{HT} \quad \text{Ec. 3-3}$$

$$\rho w V_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = w C_{pw} (T_{win} - T_{wout}) + q_{HT} \quad \text{Ec. 4-3}$$

Reemplazamos q_{HT} fluido de calor transportado.

$$\rho w V_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = w C_{pw} (T_{wi} - T_w) + UA_{TC} \left[\left(\frac{T_v + T_{vi}}{2} \right) - \left(\frac{T_w + T_{wi}}{2} \right) \right] \quad \text{Ec. 5-3}$$

$$\rho w V_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = w C_{pw} T_{wi} - w C_{pw} T_w + \frac{UA_{TC}}{2} (T_v + T_{vi}) - \frac{UA_{TC}}{2} (T_w + T_{wi}) \quad \text{Ec. 6-3}$$

Linealizamos

$$V_w C_{p_w} \frac{dT_w}{dt} = w C_{p_w} T_{wi} - w C_{p_w} T_w + \frac{U A_{TC}}{2} T_v + \frac{U A_{TC}}{2} T_{vi} - \frac{U A_{TC}}{2} T_w - \frac{U A_{TC}}{2} T_{wi} \quad \text{Ec. 7-3}$$

Resta de las variables en estado estacionario

$$V_w C_{p_w} \frac{dT_w}{dt} = w C_{p_w} T_{wi} - C_{p_w} \bar{T}_w W - C_{p_w} \bar{w} T_w + \frac{U A_{TC}}{2} T_v - \frac{U A_{TC}}{2} T_w \quad \text{Ec. 8-3}$$

$$V_w C_{p_w} \frac{dT_w}{dt} = (C_{p_w} T_{wi} - C_{p_w} \bar{T}_w) W - \left(C_{p_w} \bar{w} + \frac{U A_{TC}}{2} \right) T_w + \frac{U A_{TC}}{2} T_v \quad \text{Ec. 9-3}$$

$$V_w C_{p_w} \frac{dT_w}{dt} = (C_{p_w} T_{wi} - C_{p_w} \bar{T}_w) W - \left(C_{p_w} \bar{w} + \frac{U A_{TC}}{2} \right) T_w + \frac{U A_{TC}}{2} T_v \quad \text{Ec. 10-3}$$

Función de transferencia

Es necesario el desarrollo matemático con el propósito de obtener la situación de transmisión un intercambiador de calor que relacione a la variable final T_s (variable controlada) a la variable regulada F_F como (variable manipulada).

$$\left[\frac{C_{p_w} (\bar{T}_{wi} + \bar{T}_w)}{C_{p_w} \bar{w} + \frac{U A_{TC}}{2}} \right] W [k_1] + \left(\frac{U A_{TC}}{C_{p_w} \bar{w} + \frac{U A_{TC}}{2}} \right) T_v [k_2] = \left(\frac{\rho w V_w C_{p_w}}{C_{p_w} \bar{w} + \frac{U A_{TC}}{2}} \right) \frac{dT_w}{dt} + T_w [\tau_1] \quad \text{Ec. 11-3}$$

$$\tau_1 \frac{dT_w}{dt} + T_w = k_1 W + k_2 T_v \quad \text{Ec. 12-3}$$

$$T_w = \frac{k_1}{\tau_1 s + 1} W + \frac{k_2}{\tau_1 s + 1} T_v \quad \text{Ec. 13-3}$$

Dejarlo todo en una función básica, siempre en el numerador como una constante

$$k_1 = \frac{(C_{p_w} \cdot (T_{wi0} - (T_{w00})))}{\left((C_{p_w} * w_{i0}) + \left(\frac{U * A_{TC}}{2} \right) \right)} \quad \text{Ec. 14-3}$$

$$k_2 = \frac{(C_{p_w} * w_{i0})}{\left((C_{p_w} * w_{i0}) + \left(\frac{U * A_{TC}}{2} \right) \right)} \quad \text{Ec. 15-3}$$

$\tau_{a01}(Thau_1) = \tau_{a02}(Thau_2)$, debido a sus denominadores son iguales

$$\tau_1 = \frac{((rho_w * (C_{p_w} * v_w))}{\left((C_{p_w} * w_{i0}) + \left(U * \frac{A_{TC}}{2} \right) \right)} \quad \text{Ec. 16-3}$$

Función de transmisión para el cambio de temperatura de vapor:

$$\frac{\Delta Tw(s)}{\Delta Tv(s)} = \frac{k_1}{\tau_1 \cdot S + 1} = G_1 \quad \text{Ec. 17-3}$$

Función de transmisión para el cambio caudal a la entrada:

$$\frac{\Delta Tw(s)}{\Delta w(s)} = \frac{k_2}{\tau_2 \cdot S + 1} = G_2 \quad \text{Ec. 18-3}$$

3.6. Obtención de datos para las funciones de transferencia

Para el cálculo de los siguientes factores trabajamos en el sistema inglés y los parámetros a calcular son:

Factor global de traspaso calórico

Área de traspaso

Cantidad de agua dentro de los tubos

Flujo másico

Constante k_1, k_2

Control de válvula

3.6.1. Factor general de transmisión de calor

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{U_{do}} \right) + Ri + Ro}$$

$$U = \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{650 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}} \right) + 0.0012 \frac{hft^2 \cdot ^\circ F}{BTU} + 0.001 \frac{hft^2 \cdot ^\circ F}{BTU} \right)}$$

$$U = 267.4897 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \rightarrow U_{do} = 0.0743 \frac{BTU}{s \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$$

Donde:

U Factor total de transferencia de calor

U_{do} Capacidad de transferencia de calor

Ri Factor de obstrucción interno

Ro Factor de obstrucción externo

3.6.2. Área de transmisión calórica

$$A_{TC} = n * \pi * De * L$$

$$A_{TC} = 112\pi \left[\frac{3}{4} (12) ft \right] * (9ft)$$

$$A_{TC} = 197.9145 ft^2$$

Donde:

A_{TC} Área de transferencia de calor

n Numero de tubos

Di Diámetro externo

L Largo del intercambiador

3.6.3. Cantidad de agua dentro de los tubos

$$m = n * \left(\frac{\pi i}{4} \right) * Di^2 * L$$

$$m = 112 * \left(\frac{3.1415}{4} \right) * (0.62ft)^2 * 9ft$$

$$m = 304.313ft^3$$

Donde:

m Volumen del lado frío

n Numero de tubos

Di Diámetro interno

L Largo del intercambiador

3.6.4. Flujo másico de agua

Observación: es importante cambiar de flujo volumétrico a flujo másico

$$Q = 224 \frac{gal}{min}$$

$$Cp = 1 \frac{BTU}{lb. ^\circ F}$$

$$w = 224 \frac{gal}{min} \cdot \frac{m^3}{min} * 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{Lb}{h}$$

$$w = 0.84793 \frac{m^3}{min} \cdot \frac{60min}{1h} * 2204.6 \frac{Lb}{m^3}$$

$$w = 112160.7887 \frac{Lb}{h} \rightarrow w = 31.17 \frac{Lb}{s}$$

3.6.5. Ganancia del proceso k_1 (W)

$$k_1 = \frac{Cp \cdot (Twi0 - Two0)}{\left((Cp \cdot w_{i0}) + \left(U \cdot \frac{A_{TC}}{2} \right) \right)}$$

$$k_1 = \frac{1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot (80^\circ F - 185^\circ F)}{\left(\left(1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 112160.7887 \frac{Lb}{h} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{3600s} \right) + \left(0.0743 \frac{BTU}{sft^2 \cdot ^\circ F} \cdot \frac{197.9145ft^2}{2} \right) \right)}$$

$$k_1 = -2.7271 \frac{^\circ F}{Lb/s}$$

Donde:

- Cp Capacidad calorífica
- $Twi0$ Temperatura de entrada del agua estacionaria
- $Two0$ Temperatura final del agua estacionaria
- U Capacidad de transferencia de calor
- A_{TC} Área de transferencia de calor
- w_{i0} Entrada de agua estacionaria

3.6.5.1.

Válvula de control

Por consiguiente, hacia la ejecución de un obturador de inspección en el fluido frío se extrajo datos efectuados del consecutivo catálogo:

Tabla 6-3: Parámetros de la válvula de inspección

Parámetro	Tamaño	Valor	Unidades SI	Valor	Unidades Campo
Coficiente válvula de agua (4 ⁽³⁾ pulgadas)	Válvula NSP 6x8	5.54e-6	$m^3/s Pa^{0.5}$	1.3479	$ft^3/s Psi^{0.5}$

Fuente: (EMERSON, 2018, p.6).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

$$605 \frac{gpm_{USA}}{Psi^{0.5}} \text{ a } \frac{ft^3}{s \cdot Psi^{0.5}} = 1.3479 \frac{ft^3}{s \cdot Psi^{0.5}}$$

$$Numerador_1 = k_1 * Cv_1 * rho_w$$

$$\text{Numerador}_1 = -2.7271 * 1.3479 \frac{ft^3}{s \cdot Psi^{0.5}} * 62.428 \frac{lb}{ft^3}$$

$$\text{Numerador}_1 = -229.4765 \frac{lb}{s}$$

Donde:

Cv_1 Contenido de la válvula

k_1 Función de transferencia

ρ_w Densidad del agua

3.6.6. Ganancia del proceso k_2 (Tv)

$$k_2 = \frac{Cp_w \cdot w_{i0}}{\left((Cp \cdot w_{i0}) + \left(U \cdot \frac{A_{TC}}{2} \right) \right)}$$

$$k_2 = \frac{1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 112160.7887 \frac{Lb}{h} * \frac{1hora}{3600s}}{\left(\left(1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 112160.7887 \frac{Lb}{h} * \frac{1hora}{3600s} \right) + \left(0.0743 \frac{BTU}{sft^2 \cdot ^\circ F} \cdot \frac{197.9145ft^2}{2} \right) \right)}$$

$$k_2 = 0.80903$$

Donde:

Cp Capacidad calorífica

U Factor de traspaso de calor

A_{TC} Área de transmisión calórica

w_{i0} Entrada de agua estacionaria

Observación: k_1 - k_2 son calculadas respectivamente para la validación del "Modelado y simulación" debido a que no se valida el método de inspección (elemento final) en esta sección.

3.6.7. Constante de tiempo $Thau_1 = Thau_2$

$$Thau_1 = Thau_2 = \frac{\rho_w \cdot Cp_w \cdot vw}{\left((Cp_w \cdot w_{i0}) + \left(U \cdot \frac{A_{TC}}{2} \right) \right)}$$

$$Thau_1 = Thau_2 = \frac{62.4 \frac{lb}{ft^3} \cdot 1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 304.315ft^3}{\left(\left(1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 31.17 \frac{lb}{s} \right) + \left(0.0743 \frac{BTU}{sft^2 \cdot ^\circ F} \cdot \frac{197.9145ft^2}{2} \right) \right)}$$

$$Thau_1 = Thau_2 = 493.1925 \text{ seg}$$

3.6.8. Función de Transferencia

$$Tw(s) = \frac{-2.7271 \frac{^{\circ}\text{F}}{\text{lb/s}}}{(493.1925 [\text{seg}]) * s + 1} W(s) + \frac{0.8090}{(493.1925 [\text{seg}]) * s + 1} Tv(s)$$

3.6.9. Temperatura final del agua

Ante un cambio tipo escalón de +20 °F en la temperatura del vapor y un cambio de +10gal/min en el flujo de agua.

$$Tv(s) = \frac{20}{s}$$

$$w(t) = 10 \text{ gpm} * \frac{112160.7887 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}}{224 \text{ gpm}} U(t); W(s) = \frac{5007.2455}{s}$$

$$Ts(t \rightarrow \infty) = \lim sTs(s) = \lim \frac{20(0.3818831)}{1.7129s + 1} + \frac{5007.2455(-7.57394 * 10 - 4)}{1.71299s + 1}$$

$$Ts(t \rightarrow \infty) = 7.63766 - 3.792461 = 3.8452^{\circ}\text{F}$$

$$Ts(t \rightarrow \infty) = ts + Ts(t \rightarrow \infty) = 185^{\circ}\text{F} + 3.845201^{\circ}\text{F} = 188.8452^{\circ}\text{F}$$

3.6.10. Diagrama de bloques

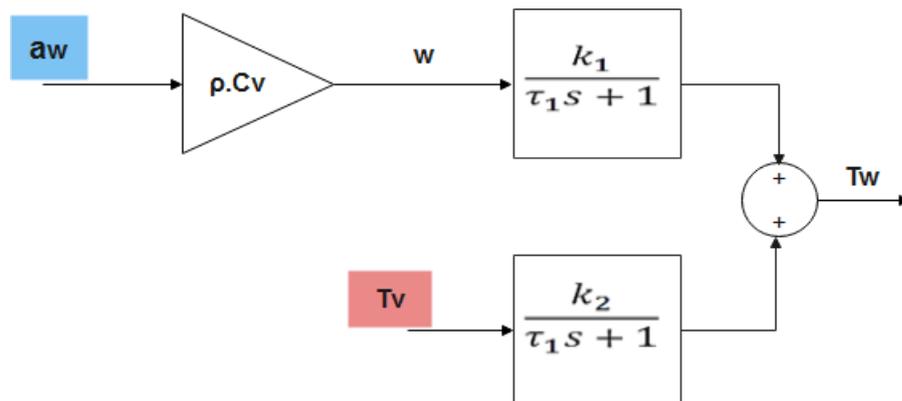


Figura 6-3: Diagrama de bloques de un intercambio calórico

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Mediante la representación de la (figura 6-3) de un intercambiador de calor tipo tubos y coraza permite desarrollar un esquema para comprender de una manera fácil y sencilla las operaciones de inspección en el sistema representando la función de cada elemento como es K_1 el fluido del

líquido frío implementado un elemento final (válvula) a_w y K_2 temperatura de vapor mediante la suma de las dos constantes obtenemos la temperatura final del líquido frío T_w .

3.7. Método de control para el modelo interno de un baño termostático

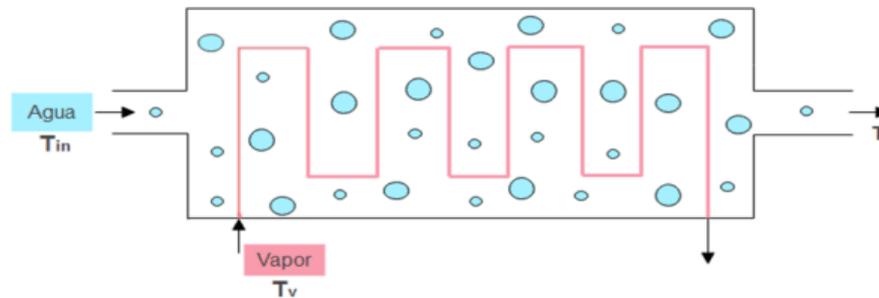


Figura 7-3: Baño termostático

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Como se puede visualizar en la (figura 7-3) la gráfica del modelo interno de un baño termostático que claramente se encarga de conservar la temperatura de una corriente de agua que circula a baja velocidad mediante un serpentín en el que circula vapor de agua. La temperatura del baño T es la variable controlada, del mismo modo la temperatura del vapor T_v es la entrada y el caudal de agua F que representa una perturbación modelada.

El proceso del método de inspección se consigue representar mediante un balance energético.

3.7.1. Balance energético

$$FC_p(T_{in} - T) + UA(T_v - T) = MC_p \frac{dT}{dt}$$

Donde:

F	Caudal de agua	Kg
C_p	Capacidad Calorífica	$KJ/Kg * ^\circ K$
T_{in}	Temperatura de entrada del agua	$^\circ K$
T	Temperatura del baño	$^\circ K$
UA	Factor global de transferencia de calor	$J. min^{-1}. K^{-1}$
T_v	Temperatura de vapor	$^\circ K$
M	Masa de agua para calentar	$Kg. min^{-1}$

Al linealizar el sistema alrededor de su estado estable, el modelo de Laplace se puede describir como:

$$\bar{T}(s) = \frac{0.0793}{1 + 2.58 s} \bar{T}_V(s) - \frac{0.3c31}{1 + 2.58 s} \bar{F}(s) \quad \text{Ec. 19-3}$$

Función de transferencia del modelo termostático:

$$G(s) = \frac{0.10}{1 + 3 s} \quad \text{Ec. 20-3}$$

Mientras la perturbación no se mide. Este modelo se utiliza para calcular el control igual a:

$$G_c = \frac{1}{G} f = \frac{1 + 3 s}{0.10(1 + \tau s)} \quad \text{Ec. 21-3}$$

Variables a controlar

3.7.1.1.

Temperatura de baño	T	Variable controlada
Temperatura del vapor	Tv	Variable manipulada
Caudal del agua	F	Perturbación

3.7.2. *Desarrollo de las constantes del proceso*

3.7.2.1. *Ganancia del proceso k_1 (W)*

$$k_1 = \frac{Cp \cdot (Twi0 - Two0)}{\left((Cp \cdot w_{i0}) + \left(U \cdot \frac{A_{TC}}{2} \right) \right)}$$

$$k_1 = \frac{1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot (69.53^\circ F - 85.73^\circ F)}{\left(\left(1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 0.9185 \frac{Lb}{s} \right) + \left(0.007337 \frac{BTU}{sft^2 \cdot ^\circ F} \cdot \frac{10.76339ft^2}{2} \right) \right)}$$

$$k_1 = -16.9105 \frac{^\circ F}{lb/s}$$

Donde:

Cp	Capacidad calorífica
$Twi0$	Temperatura de entrada del agua estacionaria
$Two0$	Temperatura final del agua estacionaria
U	Factor de transferencia de calor
A_{TC}	Área de transferencia calórica
w_{i0}	Entrada de agua estacionaria

Ganancia del proceso k_2 (Tv)

$$k_2 = \frac{Cp_w \cdot w_{i0}}{\left((Cp_w \cdot w_{i0}) + \left(U \cdot \frac{A_{TC}}{2} \right) \right)}$$

$$k_2 = \frac{1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 0.9185 \frac{Lb}{s}}{\left(\left(1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 0.9185 \frac{Lb}{s} \right) + \left(0.007337 \frac{BTU}{sft^2 \cdot ^\circ F} \cdot \frac{10.76339ft^2}{2} \right) \right)}$$

$k_2 = 0.9588$

Donde:

Cp Capacidad calorífica
 U Factor de transferencia de calor
 A_{TC} Área de transferencia calórica
 w_{i0} Entrada de agua estacionaria

Observación: k_1 - k_2 son calculadas respectivamente para la validación del sistema de control para el modelo interno de un baño termostático.

3.7.2.3. Constante de tiempo $Thau_1 = Thau_2$

$$Thau_1 = Thau_2 = \frac{rho_w \cdot Cp_w \cdot vw}{\left((Cp_w \cdot w_{i0}) + \left(U \cdot \frac{A_{TC}}{2} \right) \right)}$$

$$Thau_1 = Thau_2 = \frac{62.4 \frac{lb}{ft^3} \cdot 1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 2.472ft^3}{\left(\left(1 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \cdot 0.9185 \frac{lb}{s} \right) + \left(0.007337 \frac{BTU}{sft^2 \cdot ^\circ F} \cdot \frac{10.76339ft^2}{2} \right) \right)}$$

3.7.2.4. $Thau_1 = Thau_2 = 161.0179$ seg

Función de transferencia

$$Tw(s) = \frac{-16.9105 \frac{^\circ F}{lb/s}}{(161.0179 [seg]) \cdot s + 1} W(s) + \frac{0.9588}{(161.0179 [seg]) \cdot s + 1} Tv(s)$$

3.7.3. Datos empleados para el método de control

Tabla 7-3: Parámetros utilizados en la simulación

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidades
Caudal de agua	F	25.00	$\frac{\text{Kg}}{\text{min}}$
Temperatura de ingreso del agua de entrada	T_{in}	294.00	$^{\circ}\text{K}$
Masa de agua para calentar	M	70.00	kg
Coefficiente de traspaso de calor total	UA	9000.00	$\frac{\text{J}}{\text{min } ^{\circ}\text{K}}$
Factor calorífico del agua líquida	Cp	4180.00	$\frac{\text{J}}{\text{min } ^{\circ}\text{K}}$
Temperatura del baño	T	303.00	$^{\circ}\text{K}$
Temperatura de vapor	T_v	407.5	$^{\circ}\text{K}$

Fuente: (Corriou, 2004, p.165).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Para el progreso de la automatización tenemos variables y parámetros a controlar como es el argumento de la variable controlada es la temperatura del baño termostático T que ingresa a una temperatura de 303°K y una masa de agua para calentar de 70 Kg , seguido de una variable manipulada debido a la temperatura de vapor T_v a 407.5°K y un caudal de agua F que ingresa con $25 \text{ Kg}\cdot\text{min}^{-1}$ que circula alrededor del serpentín representando una perturbación teniendo en cuenta el contenido calorífico del líquido a $4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{K}^{-1}$ como se puede visualizar en la (tabla 7-3).

3.8. Simulación en Matlab

3.8.1. Creación de las principales funciones en Matlab

En la presente simulación utilizamos el Sistema Inglés hacia el progreso de implementación en la herramienta MATLAB/SIMULINK.

Función .m

En la función .m del software de MATLAB se desarrollan los parámetros principales que maneja el modelo como es el caso de las perturbaciones, controladores, funciones de transferencia las cuales es esencial para la conexión con la herramienta MATLAB/SIMULINK. Ver ANEXO A.

Dentro de la función "function" se desglosa 3 carpetas entre ellas están:

1. Clases (objeto)

Controller .m: son componentes importantes (núcleo) para la interfaz gráfica donde se manipulara los cambios obtenidos, es decir, el controlador tiene la parte lógica de manejar todo tipo de operaciones como cargar parámetros ordenarle al modelo que guarde, agregue, modifique o elimine algo y va configurando los casos de estudio.

Study Case Model: maneja la base de datos de casos de SQLITE (casos de estudio) que se va almacenar en una base de datos para luego cargarse fácilmente. "function obj = set parámetros (obj, params) "

Study Case: es una clase intermedia y su función es capturar la información del modelo que va a tomar los parámetros, calcular el desempeño de transmisión después devuelve los parámetros estructurados.

2. Model: su función principal es manejar la plataforma de fundamentos, es decir, conectarse o desconectarse y obtener respuestas y después enviarse al controlador. En este caso tenemos dos aplicaciones que manejan la plataforma de identificaciones como es el modelo de SIMULINK el gestor o plataforma de datos de SQLITE que almacena los parámetros de los casos.

3. UI (Interfaz gráfica)

Heat Exchange Model (Simulink): generador de datos, es decir, pasamos los parámetros y me devuelve los resultados.

Heat Exchange Model UI: es nada menos que la interfaz gráfica en sí es un objeto que es la implementación llenado en MATLAB.

4. Function

La "function" cumple una función principal que permite conectar a MATLAB con Simulink (donde se encuentra un esquema de mecanismos del modelo a simular):

Ingreso del sistema

Constantes del sistema

Valores de iteración previa

Parámetros a calcular

- Lado del agua
- Funciones de transferencia

Modelo

- Balance general (funciones de transferencia)

Salida del sistema

3.8.2. Simulación en Simulink

Como se manifestó anteriormente el bloque "function" desarrollado en MATLAB se vincula con la herramienta SIMULINK.

En el presente modelo controla la temperatura de salida del fluido en función de la apertura de la válvula del agua, es decir, controla el flujo de entrada y final del agua para inspeccionar la temperatura final. De tal manera, si es que la temperatura se está subiendo sobre el set point del T_w lo que hace es abrir más la válvula para que pase agua por medio del intercambiador de calor y eso hace que reduzca la temperatura de T_w .

Para el diagrama desarrollado en simulink, se implementó un step, PID Controller y un generador de pulso.

Step: es un bloque expresado como una entrada (generador de pulso), tomando en cuenta la entrada del líquido frío y la temperatura de vapor determinados mediante el modelo desarrollado en simulink extendido con las distinguidas constantes.

Por consiguiente, el set point se encuentra conectado al bloque que une a la retroalimentación de la señal integrada, arrancando desde la salida como un margen de error que ingresa al controlador y teniendo como resultado una salida que representa el porcentaje de arranque de la llave. Mientras que esos porcentajes son representados entre 0 (cero) y 1 (uno). Cuando es 0 la llave está completamente cerrada y cuando es 1 la llave está completamente abierta.

Apertura de la válvula de inspección a_w

Posteriormente, en el parámetro bloque step encontramos algunos parámetros que están en el script de MATLAB como es el step time: `params.setpoint.time (1200)`, initial value: `params.setpoint.vi (192)` y final value: `params.setpoint.vf (200)`, son valores establecidos

3.8.2.1. anteriormente de la automatización.

Ajuste del controlador

El ingreso a esta aplicación de MATLAB se fundamenta en la pestaña "Aplicaciones", después use el menú "Planta" el PID Tune para definir su modelo de planta. Para el respectivo ajuste de PID nos colocamos en el rasgo de comando y utilice la palabra *pid tune*, obteniendo una satisfacción un PID TUNE comando puede llegar a diseñar un controlador para múltiples plantas a la vez. Una de las superioridades que nos presenta el PID Tune Controller es sintonizar automáticamente el rendimiento de un inspector PID para alcanzar un equilibrio entre

rendimiento y robustez. Tomando en cuenta la entrada al sistema es una señal de pulso, especificamos cada característica y dato donde se almacena la señal de salida, además esta herramienta importa datos de ingreso y salida arbitrarios.

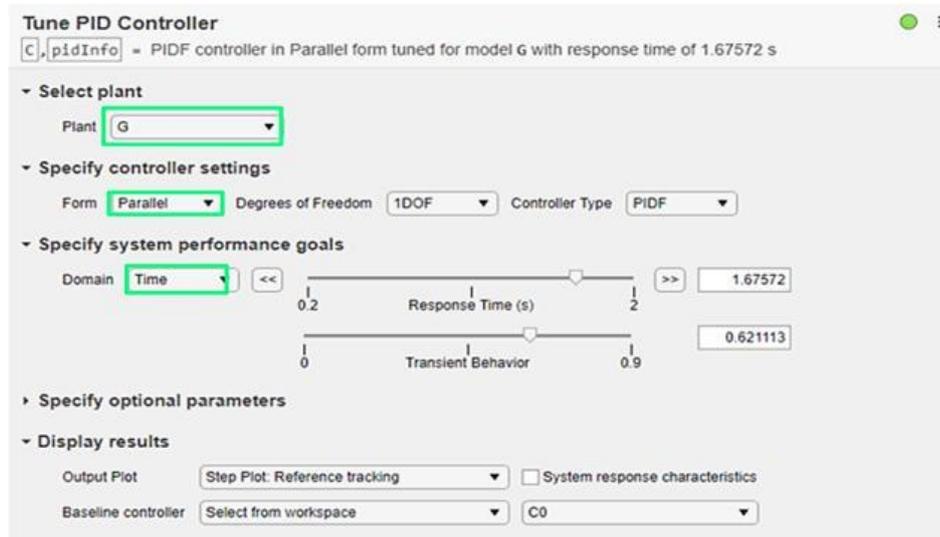


Gráfico 2-3: Pantalla principal de PID Tune

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

A continuidad, se puede visualizar en el (gráfico 3-3) las opciones a elegir son: Controlador: PID Formulario: Paralelo, Tiempo dominio: tiempo continuo seguido de la opción Principal, Fuente: interna y finalmente Seleccionar el método de sintonización: Basado en la situación de trasmisión (PID Tune App) y Tune.

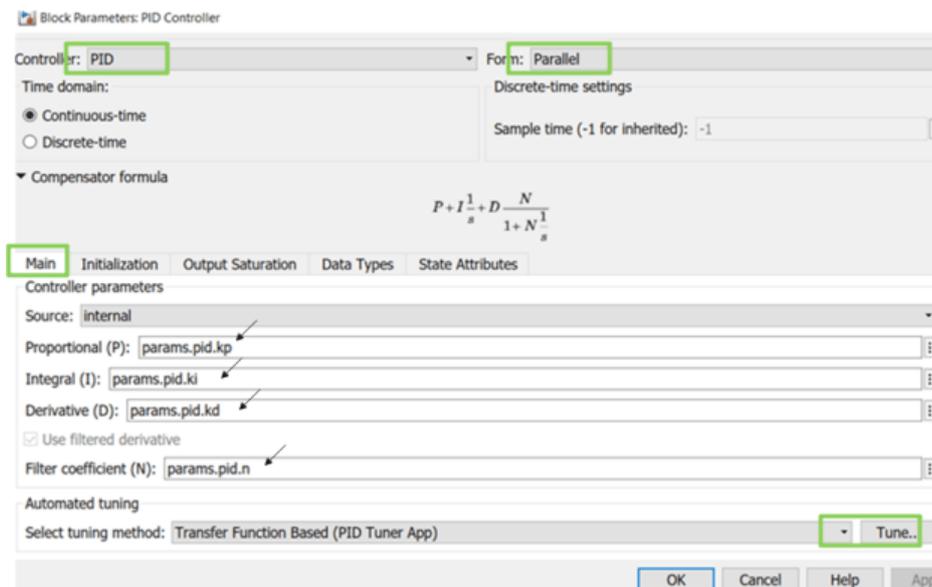


Gráfico 3-3: Pantalla principal de Block parámetros: PID controlador

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Y finalmente obtenemos el ajuste del controlador PID mediante la aplicación PID Tune/MATLAB como se observa en el (gráfico 4-3), que se utiliza en este caso para mejorar la respuesta final de temperatura frente a las perturbaciones que se presentan en el sistema.

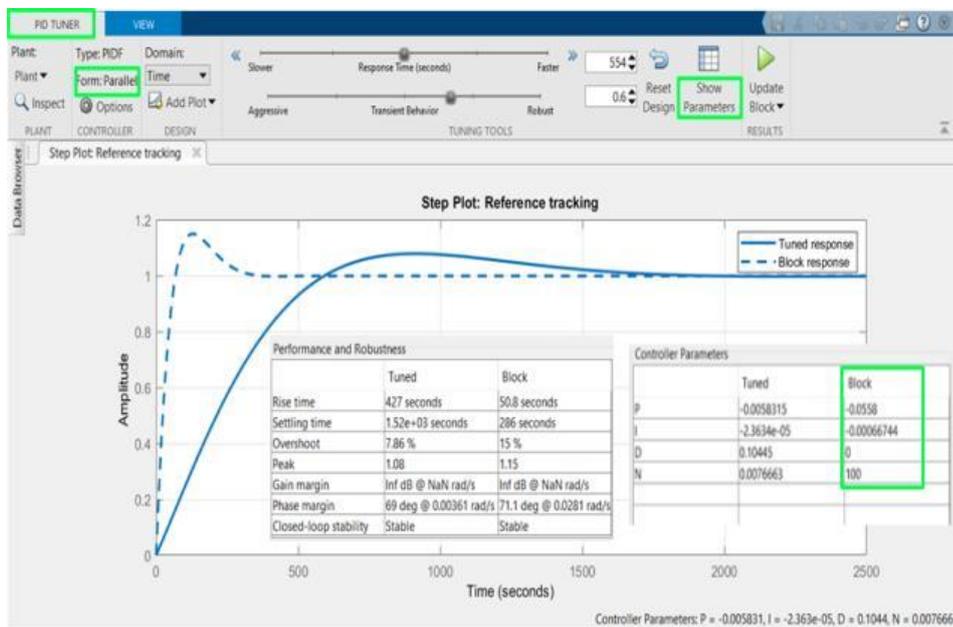


Gráfico 4-3: Resultado del ajuste del controlador con el manejo del PID Tune

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

3.8.3. Desarrollo del sistema de control

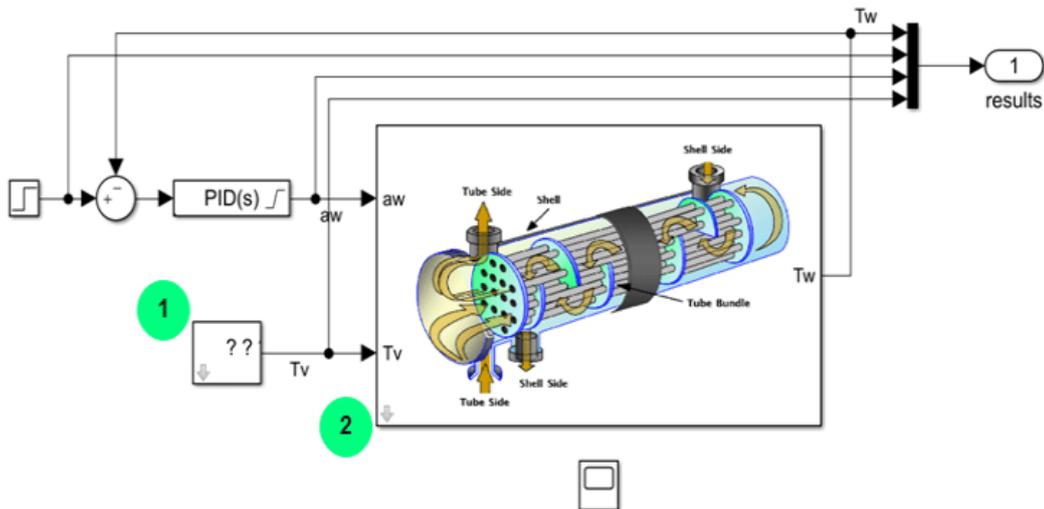


Gráfico 5-3: Sistema de control desarrollado en Simulink

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Mediante la representación del (gráfico 5-3) el diagrama de un método de inspección donde parte a examinar la temperatura final del agua fría.

Sin embargo, se implementó un bloque paso en el cual se puede ingresar cuatro tipos de valores 1. Paso tiempo: parámetros de tiempo set point, 2. Valor inicial: `params.setpoint.vi`, 3. Valor final valor: parámetros del set point `vf`, y 4. Muestra de tiempo: 0 conectado a un elemento de suma al abrir la configuración se muestran dos opciones (Principal atributos de la señal) se debe seleccionar el ícono redondo: `round`, seguido de lista de signos: `[-, +]` mostrándonos una retroalimentación de T_w continuo de una conexión a un controlador PID para el elemento final lo que hace es abrir o cerrar la válvula sobre el fluido frío para regular el cambio de temperatura que tiene el intercambiador.

En el punto (1) tenemos la temperatura de vapor que se implementó un generador de pulso cuyo objetivo es cambiar su temperatura en función por medio del pulso, como podemos visualizar en la (figura 6-3) detalladamente.

En el punto (2) se implementó los componentes de un esquema de mecanismos tomando en cuenta la ganancia del proceso y la constante de tiempo con el propósito de obtener la temperatura de salida, como podemos visualizar en la (figura 7-3) detalladamente.

Implementación de la válvula de control

3.8.3.1.

Para el método de inspección del fluido frío se implementó un elemento final (válvula) es recomendable utilizar en este caso para mejorar la respuesta de temperatura final frente a las perturbaciones de respuesta que se den internamente en el sistema.

Como se explicó anteriormente, se han tomado datos al azar hacia el método de inspección con un valor del 100% de principio del obturador. Aquí la precisión significa el seguimiento de valor del proceso más cercano al punto de ajuste y así lograr una respuesta clara y precisa.

De manera análoga, en este caso nos ayuda mediante una señal a cerrar o abrir la llave hasta alcanzar una temperatura deseada. La regulación proporcional de la apertura y cierre de llave se logra mediante la regulación progresiva. Por su parte, obtendremos el tiempo integral, tiempo derivativo y la constante proporcional con el apoyo de la aplicación PID Tune mediante las funciones de transferencia, la variable controlada y manipulada.

Posteriormente, para la implementación del control PID encontramos la función de traspaso y la hemos puesto en el script de MATLAB y los valores del PID son obtenidos automáticamente del bucle de retroalimentación (PID Tune). El controlador PID calcula el valor de salida conforme con el controlador Ganancia (K_c), tiempo de reinicio (T_i) y tiempo de frecuencia (T_d) que se ingresa por el operador. Dependiendo del valor de error, el controlador produce la salida de activación del control elemento de válvula. El controlador PID está ajustado de tal modo que deberíamos obtener un error mínimo de estado estable, insensibilidad para cargar perturbaciones y una respuesta transitoria aceptable a alteraciones y cambios en el punto de ajuste.

Implementación de la perturbación de temperatura

Para la ejecución de la perturbación de temperatura agregamos un generador de pulso hace que
3.8.3.2 pase el vapor que pasa por el otro lado del intercambiador cambie su temperatura en función de un pulso.

Para la temperatura de vapor tenemos un generador de pulso y un delay.

Un generador de pulso continuo trabaja mediante un intervalo de período inicial de 0 hasta los 12000, tomando en cuenta los principales factores como son: repetitivos y su nivel de hecho ambos factores podremos conocer su frecuencia. Por consiguiente, el generador de pulso actúa enviando una señal al módulo electrónico, en función de los datos recibidos los envía de inmediatos a la válvula individualmente.

Por otro lado, tenemos el delay cuya función hace que el procesador espere hasta una instrucción mediante una tardanza de tiempo. Y ambas señales tanto el generador de pulso y delay llegan a la variable time delay para notificar de su desbordamiento, como se puede visualizar en el (gráfico 6-3).

Posteriormente, se creó un bloque donde está un subsistema que construye una señal donde el delay es una perturbación que se desplazará a 100 segundos. Además, el controlador de temperatura desconecta el calentador cuando el agua alcanza una temperatura de 188.8 °F y le conecta cuando la temperatura baja de los 80 °F.

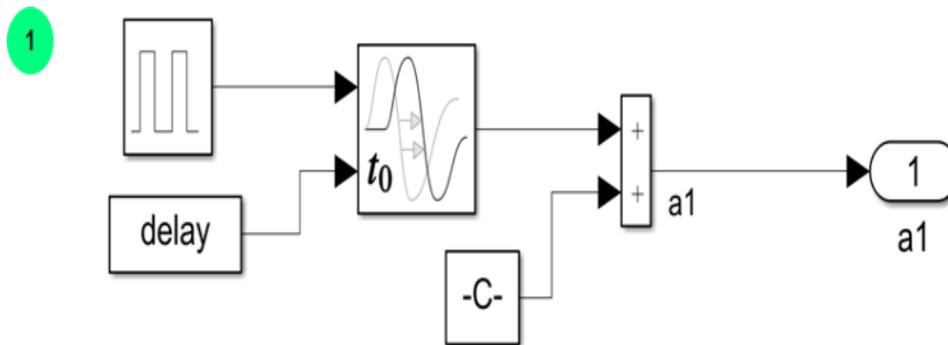


Gráfico 6-3: Retardo de tiempo del sistema de trasmisión de calor

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Para empezar se selecciona el bloque que se desea editar en este caso es Outport1 para la transición de caudal seguido de un bloque función de transferencia donde se debe ingresar las funciones de transferencia escrita en el script de Matlab mediante el análisis matemático en este caso para la primera ocupación de transferencia en el coeficiente del numerador se ingresa la constante (K1,w) y en el coeficiente del denominador Thau1 seguido de la variable colocamos 1, esto se efectúa porque con cada salto que se realice se eleva a un exponente por ende al realizar esto representa que se coloca thau1 s+1, se debe realizar el mismo método hacia el transcurso de la segunda función de transferencia Outport2 con el ligero cambio que en el

numerador se colocara la constante (k_2 , T_v), estas dos funciones de transferencia llegan a un bloque suma de elementos: principal de sumatoria seguido del ícono redondo se selecciona la propiedad rectangular y en el icono lista de signos se coloca dichos signos que se requiera ++. En el bloque constante: principal se ingresa el valor que representen una constante en este caso la variable asignada es la temperatura final (T_w0), de igual firma seguido de un Sum of elements2. Finalmente conectada a un bloque Outport3 que no requiere de ninguna configuración tan solo se realiza las conexiones solicitadas y este bloque brinda como resultado una gráfica de estas variables. Para mejor demostración Ver ANEXO C.

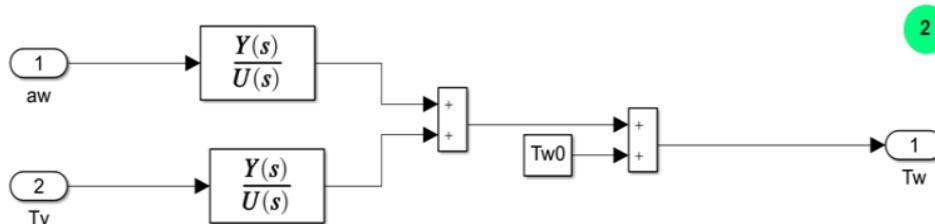


Gráfico 7-3: Conexión de los esquemas de bloques en Simulink

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

3.8.3.3. *Parámetros empleados en la simulación*

Los parámetros utilizados se detallan a continuación:

Tiempo de simulación PID

Tiempo de simulación inicial: 0 segundos

Tiempo de simulación tiempo final: 12000 segundos

Saturación de salida PID

Límite superior: 1

Límite inferior: 0

Variable Time Delay

Retraso máximo: 10000

Salida inicial: 0

Tamaño de búfer inicial: 2048

3.8.4. *Corrección de errores en la simulación*

Al ejecutar la simulación debemos ser pacientes a la respuesta y comprobaremos mediante la ejecución que se está desarrollando en el fragmento mínimo de Simulink, donde se puede visualizar que se está completando el porcentaje hasta llegar al 100%. Por otra parte, los resultados lograremos visualizar en el bloque SCOPE dándole clic y de inmediato se tendrá la respuesta de las variables inspeccionadas y manipuladas.

3.9. Creación y proceso de la interface gráfica

3.9.1. Creación de la interfaz gráfica para el análisis del sistema

Para la creación de una interfaz gráfica utilizando el Software de Matlab/App Designer que ingresamos desde la pantalla principal HOME opción New y finalmente App. Se elige una nueva plantilla en blanco para iniciar con la creación de la interfaz, se desplegará una nueva ventana con una plataforma de equipos en la fracción superior y en la sección de la izquierda para ingresar los componentes que tendrá la interfaz, en este caso lo que más se utilizó es una caja, botones, etiquetas, imágenes, paneles, ejes entre otras.



Gráfico 8-3: Pantalla principal para la interfaz de un intercambiador

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

3.9.2. Programación del código interno

En este apartado nos permite enlazar al modelo de SIMULINK con la App Designer. En el editor de *Code View* algunas divisiones son editables y otras no son editables, es decir, el código que no permite editar nos presenta divisiones de color gris. Por otro lado, las divisiones presentadas de color blanco son editables y pertenecen a:

- El grupo de funciones que define (devoluciones de llamada y funciones auxiliares).
- Propiedades personalizadas.

A continuación, se conoce el procedimiento simplificado para el desarrollo de la programación del código interno desarrollado en MATLAB:

- a. Crear una propiedad "Propiedades (Access = privado)", cuya finalidad es recopilar aquellas funciones.

Tabla 8-3: Funciones almacenadas en la interfaz gráfica

Propiedad	Recopilación
Unit System	Sistema Inglés (S.ING)
Control	Controlador: PID
Initial (Variables de ingreso)	Temperatura entrada del agua fría T_{wi0} Temperatura salida del agua fría T_{wo} Temperatura de vapor T_v Flujo del agua W_{i0}
Set point	Temperatura final del líquido frío T_{wo}
Constants	Fluido de agua fría W_{i0} Temperatura de entrada del agua T_e Temperatura de vapor T_v
Flags	Datos que aporta en el botón de caja
Results	Los resultados obtenidos mediante el sistema inglés, donde se hará una copia en "Resultado No Conv"
Resultado No Conv	Resultados obtenidos directamente desde el script de MATLAB.

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

- b. Código de la función privada, el cual se mencionaba códigos editables y no editables. Sin embargo, almacena otras funciones ocultas y se denomina con el siguiente nombre "método (Access = privado)".
- c. Completar los datos implementado en la interfaz gráfica, se crea la función denominada "función (default Modelo)". Por otra parte, "Modelo del intercambio de calor (Simulink)" básicamente es el modelo de Simulink su función es pasar los datos (generar datos) y devuelve los resultados de SIMULINK.
- d. Código "función (correr la simulación)" almacenas todas las funciones principales para la simulación en la pantalla principal de App Designer.

A continuación, se detalla cómo se crea dos funciones para la entrada de la interfaz:

"función (obtener Data)": es una función sumamente necesaria para la extracción de datos de las tablas y los carga de inmediato a variables almacenadas en propiedades.

“función (configuración de la simulación)”: también es una aplicación necesaria para transferir los datos extraídos por “obtener Data” al modelo Simulink.

Se ejecuta la simulación en el parámetro establecido.

Obtención de resultados.

Posteriormente se esquematiza todas las gráficas obtenidas en “gráfica de resultado”.

A continuación, se podrá visualizar 3 graficas como son:

T_w	Temperatura de agua fría
T_v	Temperatura de vapor
T_{sp}	Temperatura del set point (Perturbación)

3.10. Validación de datos obtenidos en la simulación

Mediante la validación se realizó de dos maneras:

Previo a la investigación y procesamiento de la plataforma de datos, nace la necesidad de validar el modelado y simulado con los resultados presentes en bibliografía. El estudio que se toma en cuenta para la validación del presente proyecto es el trabajo comprometido por Paredes y Barros (2015).

Para ser validado el sistema de inspección de un intercambio calórico se utilizó el ejercicio 4.4 página 165 del libro Teoría de control de procesos y aplicaciones Springer -Verlag por Jean-Pierre Corriou. Primero obtenemos variables y parámetros nominales para ser implementado en el sistema de control (Simulink). Ver ANEXO G.

CAPÍTULO IV

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1. Presupuesto

En la Tabla 1-4, se detallan los costos para cada actividad.

Tabla 1-4: Presupuesto del proyecto

PRESUPUESTO			
ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNA	EXTERNA
Aprendizaje e investigación (online)	\$200	X	
Internet	\$110	X	
Licencia de MATLAB	\$60	X	
Contratios	\$30	X	
Empastado	\$40	X	
Impresiones	\$30	X	
TOTAL	\$470		

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

4.2. Recursos y Materiales

Mediante el desarrollo del presente proyecto de integración curricular se utiliza el siguiente software para el análisis de las presentes etapas anteriormente mencionadas:

1. Simulink
2. App Designer: Desarrollo de la interfaz gráfica.

MATLAB, versión R2020a (9.8.0.1323502), 64-bit (win 64), Febrero 25, 2020, Licencia número: 968398, utilizado para el desarrollo numérico y grafico del intercambiador de calor tipo coraza y tubos. La cual se utiliza algunas herramientas dentro del MATLAB/ SIMULINK como es la herramienta APP DESIGNER, para el progreso de la interfaz gráfica.

De la misma manera, la utilización del presente software se lleva a cabo mediante un ordenador TOSHIBA, Windows 10 Pro, procesador Intel ® Core™ i3 CPU, M 380 @ 2.53GHz 2.53 GHz, con 4.00 GB de memoria instalada (RAM), sistema operativo de 64 bits, procesador x64.

4.3. Cronograma

Tabla 2-4: Cronograma del proyecto de titulación

ACTIVIDADES	MESES															
	1er. Mes				2do. Mes				3er. Mes				4to. Mes			
	SEMANAS															
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración del anteproyecto			■	■												
Modelación y determinación de variables					■	■	■									
Modelado matemático del sistema de control									■	■	■	■	■			
Simulación del trabajo													■	■		
Validación del método														■	■	
Corrección de borradores	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Revisión del documento final													■	■	■	
Defensa del trabajo final																■

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

4.4. Discusión y análisis de resultados

Mediante el desarrollo del presente trabajo de Integración Curricular, en esta sección, se darán a conocer todos los resultados sobre el modelado, simulación y control de un intercambio de calor tipo coraza y tubos. Finalmente, se muestran resultados de la simulación y control de un intercambiador mediante el presente software.

4.4.1. Informe de resultados de la simulación en Matlab

Con el fin de revelar el resultado del funcionamiento y evidenciando el error generado en la comparación de datos, teniendo en cuenta que al momento de ser calculado en el software se mostrarán datos más acertados en el modelo de un intercambiador de calor.

Caso Paper1

A continuación, se visualiza datos utilizados para el modelado y simulación del intercambiador de calor tipo coraza y tubos.



Gráfico 1-4: Parámetros utilizados en la simulación Caso - Paper1

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Observación: Con respecto a la gráfica del lado izquierdo (datos encerrados) son parámetros colocados para obtener la temperatura final del fluido frío (T_w) y así validar con el estudio bibliográfico. Del mismo modo, los datos restantes son utilizados para controlar el paso del fluido por el elemento final mediante datos experimentales.

Tabla 3-4: Parámetros de ingreso en la interfaz

Parámetros	Nomenclatura	Valor	Unidades
Flujo entrada FF estacionario	W_o	31.15	$\frac{lb}{s}$
Temperatura de entrada FF estacionario	T_{wo}	80.00	°F
Temperatura salida FF estacionario	T_{wo0}	185.00	°F
Temperatura salida FC estacionario	T_{vo0}	240.00	°F
Densidad FF	rho_w	62.400	lb/ft^3
Calor específico FF	Cp_w	1.00	BTU/lb°F

Fuente: (Paredes y Barros, 2015, p.3)

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Donde:

FF Flujo de agua fría

FC Flujo de vapor

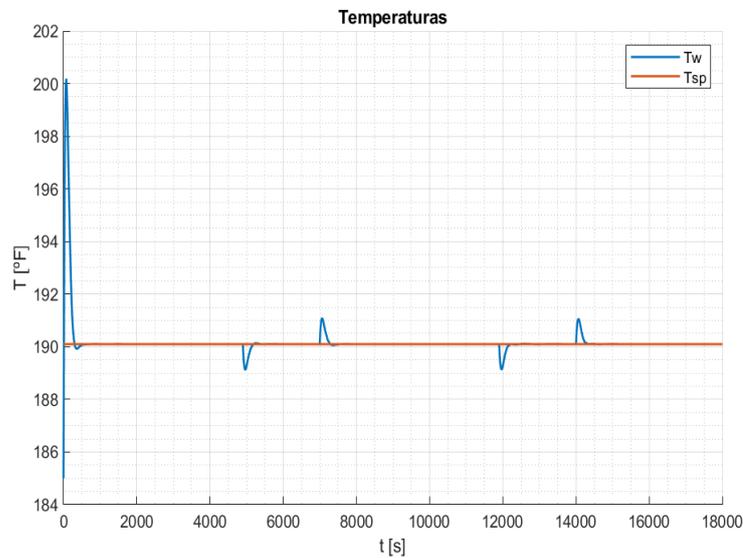


Gráfico 2-4: Temperatura de salida mediante una perturbación

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Mediante el análisis de resultado tenemos que el transcurso de la operación del intercambiador que se podrá dar varias perturbaciones que consecuentemente generarán una variación en la temperatura de salida. En este caso se analiza las perturbaciones correspondientes a que se den un cambio en el caudal de entrada y en la temperatura de vapor para poder llegar a un punto final de los cambios que se van a dar con estas perturbaciones. La perturbación del modelo es la temperatura del vapor que entra al otro lado del intercambiador.

Por otro lado, se puede observar en el (gráfico 2-4) un punto de análisis de la temperatura es incrementada fuera del rango establecido a una temperatura de 202.0234 °F para controlar las presentes perturbaciones se implementó un controlador PID con la finalidad de mejorar la respuesta de la temperatura de salida a las perturbaciones que se den en el sistema.

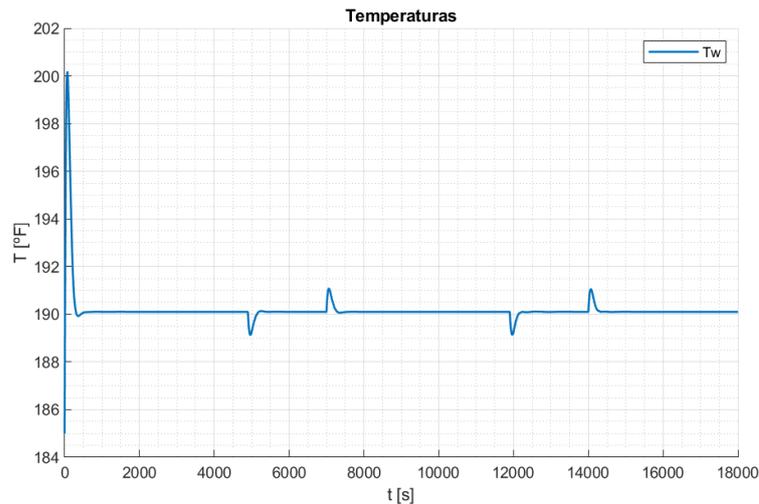


Gráfico 3-4: Temperatura de salida del agua fría T_{ws} en °F

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Finalmente, se puede evidenciar mediante el (gráfico 3-4) una línea de color celeste parecida al comportamiento de la temperatura final del sistema logrando así una estabilización en la temperatura de salida en el punto $T = 191$ °F del fluido frío en un tiempo de 350 segundos.

Observación: en este apartado podemos observar el resultado del desarrollo del modelado y simulación. Y es evidente implementar un elemento final como es la válvula de control. Por ende, el usuario colocará datos experimentales para tener resultados claros y precisos bajo el modelamiento, simulación y control de una planta.

4.4.2. *Datos al azar para el controlador*

Con respecto a los demás datos son parámetros ajustados con el PID Tune con el fin de controlar el flujo de agua fría y mantenerlo estable la temperatura de salida mediante una válvula de control.

Por otro lado, se visualiza una pestaña de "Control" en la interfaz gráfica, con la implementación del elemento final como es la válvula que nos ayudará a cerrar o abrir la llave ya sea cero (0) completamente cerrada y uno (1) completamente abierta, además son datos obtenidos al azar. Para ello, se detalla a continuación:

Tabla 4-4: Parámetros que interviene en el elemento final

Parámetros	Valor	Unidades SI	Valor	Unidades Campo
Coficiente válvula de agua (4 ⁽³⁾ pulgadas)	5.54e-6	$m^3/s Pa^{0.5}$	1.3479	$ft^3/s Psi^{0.5}$
Presión válvula de agua	101325	Pa	14.7	Psi

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 5-4: Parámetros tomados del catálogo 12

Parámetros					
Tamaño válvula NPS	Diámetro	Unidad	Cv	Valor	605
6x8	4 ⁽³⁾	Pulgada		Unidad	$gpm / Psi^{0.5}$

Fuente: (EMERSON, 2018, p.6)

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Aquí se utilizó los parámetros establecido para la simulación bajo condiciones de estado estacionario. Debido a las constantes que definen las ganancias del proceso, es por defecto de la liberación y la resta del estado estacionario. Con respecto al tamaño de la válvula va depender del dimensionamiento del intercambiador de calor.

Posteriormente, las dos graficas (4-4 y 5-4) muestran como el sistema PID está reaccionando a los cambios de set point, prácticamente las dos graficas son las mismas porque el flujo de líquido frío que entra por acción de la válvula siempre va a depender del porcentaje de apertura si él % de apertura aumenta, el flujo de líquido frío aumenta dicho de otra forma, son directamente proporcionales.

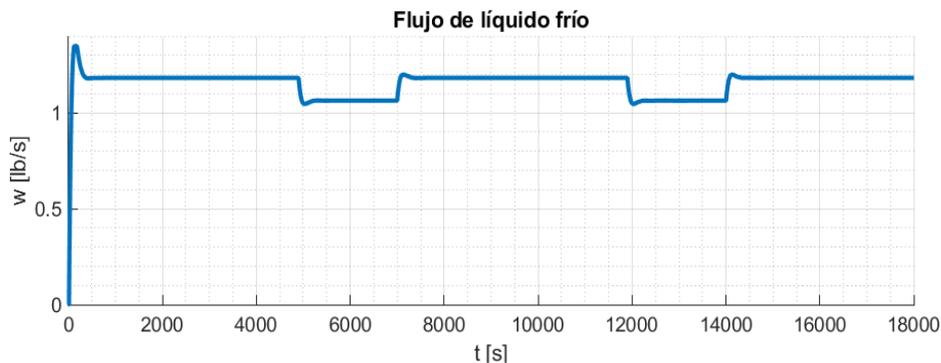


Gráfico 4-4: Respuesta del sistema de nivel de líquido frío

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

El nivel del agua dentro de los tubos del intercambiador es controlado mediante una válvula como se puede observar en el (gráfico 4-4) la curva del nivel de agua (w) va decreciendo hasta alcanzar su valor del set point de 1.3 lb/s (9.34gal/min) a un tiempo de 400 segundos. Además, sufre una perturbación a un tiempo de 5000 segundos vuelve a subir y se estabiliza a un tiempo de 5300 segundos así sucesivamente.

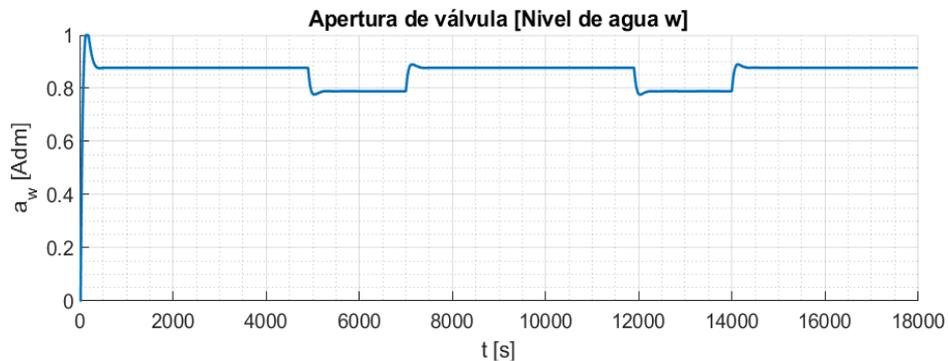


Gráfico 5-4: Respuesta del sistema de inspección del intercambiador

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Como resultado final podemos evidenciar mediante la (gráfica 5-4) la apertura de la válvula (a_w) primero empieza con la válvula cerrada después actúa abriéndose al 100% permitiendo la salida del agua, esto va decreciendo hasta llegar a un punto de estabilizarse a los 400 segundos al 88.5%.

4.4.2.1.

Caso validación - Libro

Tabla 6-4: Datos de ingreso para el Caso - Libro

Parámetros	Nomenclatura	Valor	Unidades
Water flow rate	F	25.00	$\frac{Kg}{min}$
Inlet water temperature	T _{in}	294.00	°K
Water mass to heat	M	70.00	Kg
Global heat transfer coefficient	UA	9000.00	$\frac{J}{min \text{ } ^\circ K}$
Heat capacity of liquid water	C _p	4180.00	$\frac{J}{Kg \text{ } ^\circ K}$
Bath temperature	T	303.00	°K
Vapor temperature	T _v	407.5	°K

Fuente: (Corriou, 2004, p.165).

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 7-4: Datos colocados en la simulación para el Caso - Libro

Parámetros	Nomenclatura	Valor	Unidades
Volumen del lado frío	V_w	2.472	ft^3
Coefficiente de transferencia de calor.	U	0.007337	$BTU/s\ ft^2\ ^\circ F$
Área de transferencia de calor.	Atc	10.76339	ft^2
Entrada de agua estacionaria	Wi_0	0.9185	$\frac{lb}{s}$
Temperatura de entrada del agua estacionaria.	Twi_0	69.53	$^\circ F$
Densidad del agua	ρ_w	62.4	lb/ft^3
Capacidad calorífica	Cp_w	1.00	$BTU/lb^\circ F$

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Como se puede observar en la (tabla 7-4) se encuentra los flujos y temperaturas de entrada del agua fría y vapor, además se observa que se desarrolló en las unidades del sistema inglés.

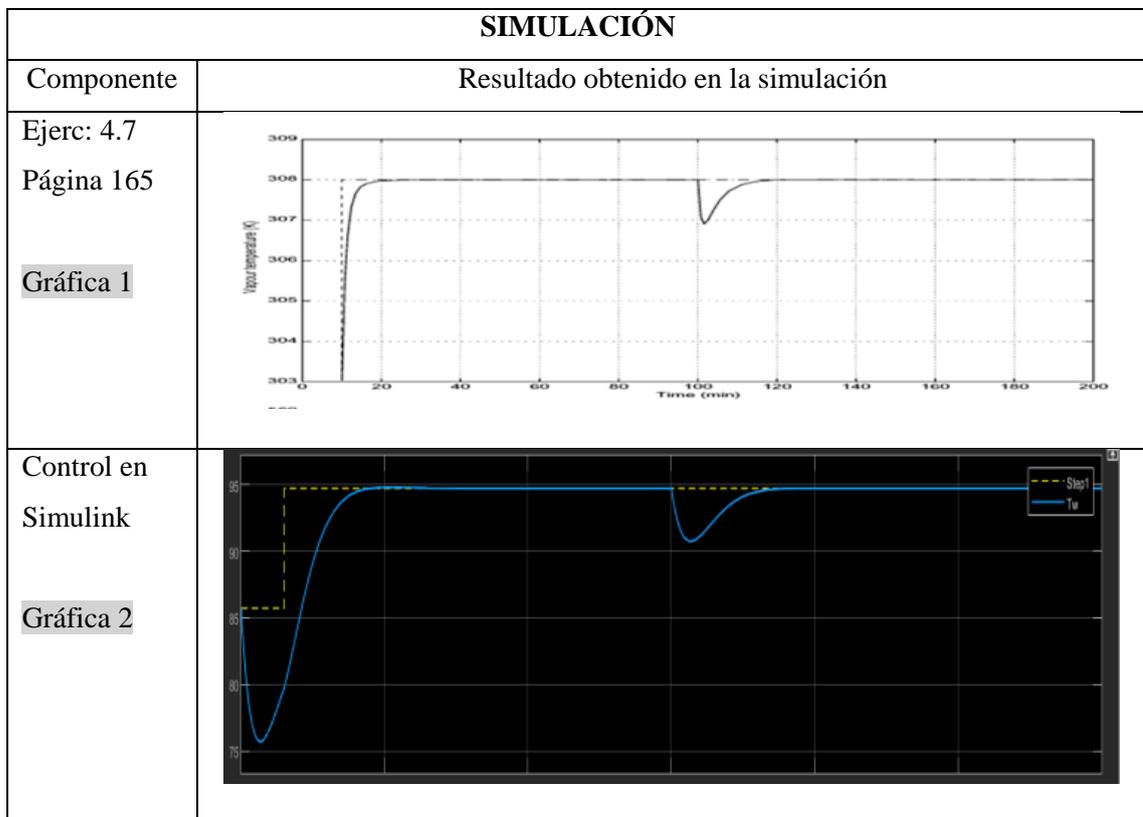


Gráfico 6-4: Punto de ajuste y respuesta de la temperatura

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

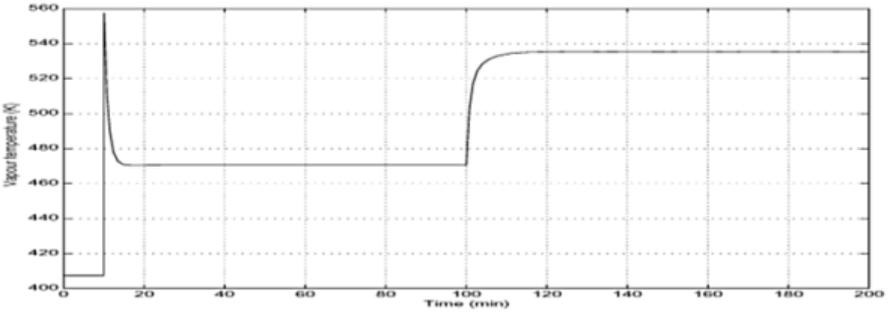
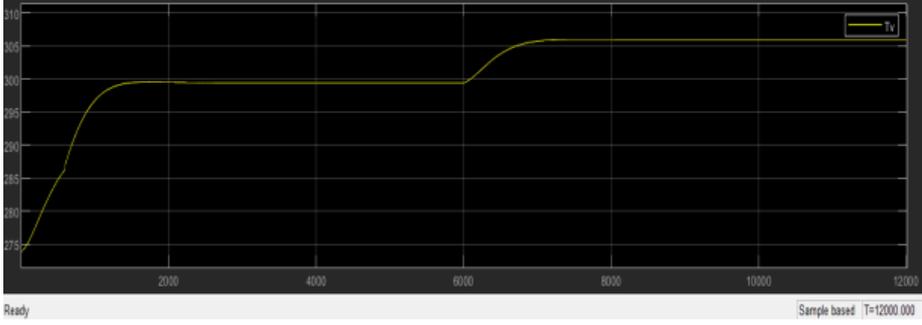
SIMULACIÓN	
Componente	Resultado obtenido en la simulación
Ejerc: 4.7 Página 165 Gráfica 3	
Control en Simulink Gráfica 4	

Gráfico 7-4: Temperatura de vapor - Entrada manipulada

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Algunas observaciones que debemos tener en cuenta para la simulación:

- La temperatura va ir de 0 a infinito ($0, \infty$)
- La temperatura de vapor es ajusta con un PID más no con un elemento final.

Gráfica 1: desarrollado en el factor de escala °K, su tiempo de respuesta es sumamente rápido que se da a una distancia de 10 minutos y llega a una temperatura de 308 °K como se puede visualizar en el (gráfico 6-4).

Gráfica 2: se desarrolló mediante el factor de escala en °F, el comportamiento del tiempo de respuesta (cambio de set point) tarda una distancia de 1000 segundos, como se puede visualizar en la (gráfico 6-4). Además, su temperatura inicial es de 85.00 °F como el proceso está en el set point pues mantiene su temperatura, pero al tener una caída debido a la respuesta del PID muy lento va ajustando hasta una temperatura de 95 °F y cuando hay un mínimo cambio de set point empieza a subir y le mantiene a una temperatura de 95 °F a los 1000 segundos, después llega a estabilizarse, pero de repente se presenta una perturbación a los 600 segundo, después sube a los 700 segundos y se estabiliza a la misma temperatura de los 95 °F.

Gráfica 3: desarrollado mediante la utilización del modelo de espacios de estado, el PID responde de una manera rápida y hace notar el sobresalto a una distancia de 10 minutos llegando a una temperatura de 560 °K después baja a una temperatura de 475 °K y se estabiliza

después a los 100 minutos, es decir, debido a que tiene demasiada alta la constante proporcional (P), de tal manera que lo ajusta de una manera rápida a la variable controlada, pero es difícil evitar la inercia del sobresalto hasta que suba demasiado temperatura.

Gráfica 4: como se puede visualizar la línea de color amarilla es la temperatura que controla el modelo con el PID para ajustar la temperatura final del líquido. De tal manera, se desarrolló mediante el ajuste PID Tune de MATLAB y su respuesta fue muy lenta con un tiempo de 1000 segundos a una temperatura de 300 °F llegando a estabilizarse a los 7000 segundo mediante una perturbación hace que su temperatura baje y vuelve a subir a 307 °F y es la razón por lo que no tiene el sobre-salto, por así decirlo es porque tiene menos fuerza. Además, para ajustar al set point tiene la posibilidad de evitar el sobre-salto porque puede controlar la inercia del sistema. El PID nos da directamente la temperatura que debe tener el vapor para controlar el proceso.

Donde:

T_v Temperatura de vapor

T_w Temperatura del agua fría

T_{sp} Perturbación (escalón unitario)

Tabla 8-4: Datos de salida para el Caso - Libro

Parámetros	Nomenclatura	Valor	Unidades
Temperatura de salida del agua estacionaria	T_{wo_0}	85.73	°F
Temperatura de salida del vapor estacionario	T_{vo_0}	273.83	°F

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

4.5. Validación de los resultados provenientes de Matlab

Previo a la investigación y procesamiento de la plataforma de datos, nace la necesidad de validar el modelado y simulación con los resultados presentes en bibliografía. El estudio que se toma en cuenta para la validación del presente proyecto es el trabajo comprometido por Paredes y Barros (2015).

Para el cálculo del error porcentual se emplea la fórmula:

$$E(\%) = \frac{V_{deseado} - V_{experimental}}{V_{deseado}} * 100 \quad \text{Ec. 1-4}$$

4.5.1. Validación de resultados Caso - Paper1

Tabla 9-4: Comparación de resultados del artículo y software - Matlab

		(Paredes y Barros, 2015)	MATLAB	
Parámetro	Unidad	Magnitud		Error (%)
Temperatura de salida del fluido frío	°F	188.8	191.00	1.1518
MSE				1.1518

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Como se puede visualizar en la (tabla 9-4) existen errores porcentuales mínimos esto justifica mediante datos anteriormente mencionados en la simulación obteniendo el valor de la temperatura de salida estabilizada a T_w : 191 °F (Matlab) mientras en el (artículo) tenemos una T_s : 188.8 °F obteniendo un error cuadrático de 1.1518%. Dándonos un promedio porcentual de la simulación de 0.4054%, esto se da debido al comportamiento de la temperatura de salida que es la consecuencia de las perturbaciones analizadas como es la temperatura de vapor y el ingreso de agua fría. Las condiciones de operación y ecuaciones de transferencia permitieron simular adecuadamente el sistema dinámico de un intercambiador de calor. Posteriormente, se implementó el sistema de control para el funcionamiento internamente del intercambiador, lo que se valida mediante datos al azar con respecto al set point para la generación de datos.

4.5.2. Validación de resultados Caso - Libro

Tabla 10-4: Parámetros importantes a simular

Parámetros	Nomenclatura	Valor	Unidades
Tasa de flujo del agua	F	25.00	Kg/min
Temperatura de entrada del agua	T_{in}	294.00	°K
Masa de agua para calentar	m	70.00	Kg
Coefficiente de transferencia de calor global	UA	9000.00	$J/min^{\circ}K$
Capacidad calorífica del agua	C_p	4180.00	$J/Kg^{\circ}K$
Temperatura del baño	T	303.00	°K
Temperatura de vapor	T_v	407.5	°K
Densidad del agua	ρ	1000.00	Kg/m^3

Fuente: (Corriou, 2004, p.164-166)

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 11-4: Comparación de datos del libro y software - Matlab

		(Corriou, 2004)	MATLAB	
Parámetros	Unidad	Magnitud		Error
Temperatura del baño	°F	85.73	95	9.7579
Temperatura de vapor	°F	273.83	307	10.8045
MSE				10.2812

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Mediante la representación de la (tabla 11-4) existen errores porcentuales mínimos esto justifica mediante datos anteriormente mencionados en la simulación obteniendo el valor de la temperatura de salida del baño estabilizada a T : 95 °F (Matlab) mientras en el (libro) tenemos una T : 85.73 °F obteniendo un error cuadrático de 9.7579%, por otro lado, tenemos la temperatura de vapor estabilizada a T_v : 307 °F (Matlab) mientras en el (libro) tenemos T_v : 273.83 °F obteniendo un error cuadrático de 10.8045%. Dándonos un promedio porcentual de la simulación de 10.2812% esto es debido a una perturbación modelada por parte del caudal de agua F .

4.6. Ventajas frente a la utilización de software

- No necesita la intervención humana.
- Son rápidos en ejecución y con un 80 % de precisión.
- Disminución de tiempo para la misma producción.
- Incremento en la uniformidad de los productos.
- Aprovechamiento de energía.
- Mínimo deterioro de equipos.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló el modelado, simulación y control de un intercambiador de calor tipo coraza y tubos mediante la utilización de la plataforma de programación MATLAB y sus herramientas como es Simulink y App Designer. Por otro lado, Simulink se manejó con respecto al sistema de control y App Designer se utilizó para el diseño y creación de una ejecución independiente, la cual será utilizada como una herramienta didáctica para la materia de control automático de procesos y afines.
- Se modeló matemáticamente un intercambiador de calor tipo coraza y tubos mediante el desarrollo de ecuaciones, para ello se consideraron parámetros, variables y condiciones de operación importantes dentro de la simulación para la obtención del proceso de la función de transferencia como es el caso de la temperatura de vapor T_v y el flujo de agua w obteniendo así la temperatura de salida del fluido frío estabilizada a T_s : 188.8 °F según menciona Paredes y Barros (2015) y mediante la utilización de la herramienta Matlab se consiguió obtener una temperatura de salida estabilizada a T_w : 191 °F, por lo tanto, se logró observar la similitud entre las gráficas de la temperatura de salida de agua presentando un pequeño error cuadrático de 1.1518%, debido a que las ecuación no son iguales sino son aproximadas la una a la otra.
- Se programó mediante la plataforma Matlab permitiendo conocer el comportamiento dinámico interno del intercambiador de calor. Se implementó un sistema de control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) con el objetivo de corregir eficazmente las perturbaciones en menor tiempo posible del mismo modo, con la ayuda de la herramienta Simulink/Tune logramos determinar datos para el controlador teniendo k_p : - 0.0558, k_i : - 6.6744E - 04, k_d : 0 y n : 100. Bajo las medidas establecidas del artículo, es importante implementar un controlador debido al tiempo de respuesta que tarda como es el caso de la temperatura de salida llega a estabilizarse a los T_s : 188.8 °F en un tiempo de 160 segundos. Por lo tanto, mediante el progreso de la simulación se logró una temperatura de salida a estabilizarse a T_w : 191 °F en un tiempo de 350 segundos teniendo un error cuadrático de 1.1518% esto se da debido al comportamiento de la temperatura de salida que es la consecuencia de la influencia de las perturbaciones analizadas como son la temperatura de vapor y el ingreso de agua fría.
- Se validaron los resultados obtenidos de la simulación mediante dos partes a través de la herramienta Matlab, dando un valor de confiabilidad general del 95%, demostrando que no existe diferencias significativas entre los datos analizados; mismos que sirvió de referente para establecer las bases de diseño, condiciones de operación y evaluación del funcionamiento. De igual forma, mediante la representación del modelo interno de un baño

termostático propuesto por Corriou (2004) afirma la implementación del sistema de control obteniendo una estabilidad en la temperatura de baño a $T: 85.73$ °F (libro) mientras el desarrollo del software (Matlab) llegó a estabilizarse a una temperatura de baño a los $T: 95$ °F dándonos a conocer un pequeño error cuadrático de 9.7579%, del mismo modo, en la temperatura de vapor llega a estabilizarse a $T_v: 273.83$ °F (libro) mientras el desarrollo del software (Matlab) planteado por Paredes y Barros (2015) llegó a estabilizarse a una temperatura de vapor de $T_v: 307$ °F obteniendo un error cuadrático de 10.8045% se da mediante el comportamiento de las perturbaciones del caudal de agua F.

- Se elaboró un manual que abarca el desarrollo del modelado, simulación y control de un intercambiador de calor tipo coraza y tubos que servirá como ayuda donde lo pueden visualizar en el apartado de Anexos, además el documento contiene diferentes pantallas con las que el usuario puede llegar a desarrollar e interrelacionarse.

RECOMENDACIONES

- Investigar y profundizar diferentes métodos de programación con el propósito de manipular de manera rápida y sencilla el desarrollo de los intercambiadores de calor.
- Respecto a la simulación de un intercambiador de calor en MATLAB se debe crear un archivo .m que contenga todos los parámetros necesarios y procedimientos matemáticas definidas con el objetivo de tenerlo activo el archivo.
- Emplear la programación establecida para modelar y/o crear varios modelos de tipos de intercambiadores de calor que concedan pronosticar los parámetros de funcionamiento en diferentes procesos químicos o empresas industriales.
- Es recomendable evaluar los tipos del sistema de control como: PI, PD, PID para lograr valores acertados y así obtener el desarrollo del sistema de control más eficiente, tasa de aprendizaje y otros parámetros englobados al presente proyecto.
- Al utilizar SIMULINK/TUNER, pasar los respectivos datos requeridos al scripts o funciones de Matlab, debido a que es una herramienta útil para obtener cálculos de una manera rápida y espontánea.

GLOSARIO

ASME: (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), es un conjunto de normas establecidas mediante un código para el diseño, fabricación, instalación de un intercambiador de calor (Llangarí y Solís, 2012, p.23).

Automatización: es el uso de sistemas de software para crear instrucciones en el desarrollo de un proceso o equipo industrial mediante la utilización de elementos del sistema de control (Chicaiza, 2014, p.16).

Coefficiente Global de transferencia: utiliza los valores de los coeficientes de los lados tubo y coraza. Posteriormente, un cálculo que considera la transferencia de calor mediante convección y conducción entre los flujos de fluido de trabajo y las paredes de los tubos, es ejecutando para conocer el valor del coeficiente global de transferencia de calor (Cabrera et al. 2018, p.49).

Diagrama de elementos: es una expresión gráfica que admite proyectar componentes que surgen como bloques para ser cableados entre sí de forma análoga al esquema de un circuito (Cegelski et al. 2018, p.210).

Intercambiador de calor: es un dispositivo más utilizado a nivel industrial compuesto por una carcasa y un conjunto de tubos, con el fin de transportar calor entre dos fluidos a diferentes temperaturas sin necesidad que los dos fluidos puedan llegar a mezclarse (Jimenez, 2018, p.21).

Lazo abierto: es un método de control que ni la salida se mide ni se realimenta, dicho de otra forma, la salida no tiene consecuencia sobre la señal o acción que toma el sistema de control (Adam, 2020, p.23).

Lazo cerrado: es un método de control cuando la señal de salida tiene efecto inmediato sobre la labor de control. Asimismo, circula una comunicación que es tomada de la variable controlada inmediatamente de manipular en los compuestos establecidos del lazo cerrado (Cegelski et al. 2018, p.9).

Perturbación: es cualquier variable que ingresa al sistema en configuración y tamaño arbitraria, que sobresalta o tiende a conmovier nuestra variable concisamente controlada (Cegelski et al. 2018, p.8).

Simulink: es una herramienta que viene de la mano de Matlab con la diferencia que Simulink maneja procesos mediante la utilización de diagramas de bloques para la simulación gráfica (Pérez, 2002, p.7).

TEMA: (Asociación de fabricantes de intercambiadores tubulares) su objetivo es regular diseños de fabricación de intercambiadores de calor de coraza tubos y equipos correspondientes a las diversas condiciones de funcionamiento. Por otro lado, ha sido posible encontrar continuamente enfoques innovadores para los estudios de los intercambiadores de calor (Harrison, 1999).

BIBLIOGRAFÍA

ADAM, Eduardo. *Instrumentación y control de procesos: notas de clase* [en línea]. 3ª ed. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral, 2020. [Consulta: 11 febrero 2021]. ISBN 9789877492019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/303721839_Instrumentacion_y_Control_de_Procesos_Notas_de_Clases

AHLERSTEN, K. *An Introduction to Matlab* [en línea]. Londres-Ingraterra: bookboon, 2012. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <http://lib.bvu.edu.vn/bitstream/TVDHBRVT/15696/1/An-Introduction-to-Matlab.pdf>

ALTAMIRANO, R.; et al. “Análisis de la Transferencia de calor por conducción, convección y radiación en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles”. *Revista Tectzapic* [en línea], 2019, (México) 5(1), pp. 38-47. [Consulta: 08 febrero 2021]. ISSN 24444944. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/tectzapic/2019/01/calor-conduccion-transferencia.html>

ÁLVAREZ DIAZ, J.; et al. “Control de temperatura en intercambiadores de calor tipo coraza-tubo: una revisión realizada a la industria”. *Entre Ciencia e Ingeniería* [en línea], 2020, 14(27), pp. 41-49. [Consulta: 05 febrero 2021]. ISSN 1909-8367. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/343598135_Control_de_temperatura_en_intercambiadores_de_calor_tipo_coraza-tubo_una_revision_realizada_a_la_industria

ÁLVAREZ GUTIÉRREZ, E. “Red ZigBee para la Medición de Variables Físicas con Interfaz en Arduino-MATLAB”. *I3+ Investigación, Innovación e Ingeniería* [en línea], 2017, (Colombia) 3(2), pp. 50-65. [Consulta: 12 febrero 2021]. ISSN 2346-2329. Disponible en: <http://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/218/273>

AO, Tian; et al. “Online simulation of shell-and-tube heat exchanger based on”. *Topics in Chemical & Material Engineering (TCME)* [en línea], 2018, 1(1), pp. 290-292. [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327245954_ONLINE_SIMULATION_OF_SHELL-AND-TUBE_HEAT_EXCHANGER_BASED_ON_CONFIGURATION_SOFTWARE

ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. *Código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación* [en línea]. Quito-Ecuador: 2016. [Consulta: 04 Febrero 2021]. Disponible en:

https://www.ecuadorencifras.gob.ec/LOTAIP/2017/DIJU/marzo/LA2_MAR_DIJU_CODIGOINGENIOS.pdf

ATAURIMA, M. *Matlab & Simulink para Ingeniería*. Lima-Perú: Universidad de Ciencias y Humanidades, 2013. pp. 7-123

BÁEZ MATOS, J.; et al. “Matlab/Simulink: Modelos para simular mediciones eléctricas en circuitos R, RL y RLC monofásicos (original)”. *Roca. Revista Científico- Educativa De La Provincia Granma* [en línea], 2018, 14(2), pp. 102-115. [Consulta: 13 febrero 2021]. Disponible en: <https://revistas.udg.co.cu/index.php/roca/article/view/235/356>

BARRAGÁN, D. *Manual de interfaz gráfica de usuario en Matlab. Parte I* [en línea]. Guayaquil-Ecuador: 2008. [Consulta: 18 marzo 2021]. Disponible en: http://www.utm.mx/~vero0304/HCPM/MATLAB_GUIDE.pdf

BHASKARWAR, T.; et al. “Automation of shell and tube type heat exchanger with PLC and LabVIEW”. *International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)* [en línea], 2015, (India). pp. 841-845. [Consulta: 08 septiembre 2021]. Disponible en: <http://doi.org/10.1109/iic.2015.7150859>

BORGES, Carolina; et al. “Dynamic Analysis of Fouling Build Up in Heat Exchangers Designed According to TEMA Standards”. *Industrial & Engineering Chemistry Research* [en línea], 2018, 57(10), pp. 3753-3764. [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b00906>

BURBANO, Sonia. Diseño de un módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos (Trabajo de titulación) [en línea]. Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Mecánica. Bogotá-Colombia. 2014. pp. 12-88. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/719/Diseno%20de%20un%20modulo%20de%20intercambiador%20de%20calor%20de%20coraza%20y%20tubos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CABRERA, Marín; et al. “Desarrollo de una interfaz didáctica para diseño de intercambiadores de calor tipo tubo y coraza”. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability* [en línea], 2018, 2(3), pp. 27-60. [Consulta: 7 septiembre 2021]. ISSN 2448-8186. Disponible en: <https://doi.org/10.19136/jeeos.a2n3.2852>

CARRILLO, Allí. *Sistemas automáticos de control fundamentos básicos de análisis y modelado* [en línea]. 2ª ed. Santa Rita-Venezuela: UNERMB, 2011. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en:

http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTROL%20%201.pdf

CARTAXO, Samuel; et al. “Transient analysis of shell-and-tube heat exchangers using an educational software”. *Education for Chemical Engineers* [en línea], 2014, 9(3), pp. 1-8. [Consulta: 7 septiembre 2021]. ISSN 17497728. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ece.2014.05.001>

CEGELSKI, C.; et al. *Sistemas de control: la automatización como el motor del desarrollo* [en línea]. 1ª ed. Posadas - Argentina: Universidad Nacional de Misiones, 2019. [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/I_01_Sistemas_de_Control_web.pdf

CENGEL, Y.A. *Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico* [en línea]. 3ª ed. México: McGraw-Hill, 2007. [Consulta: 08 febrero 2021]. Disponible en: https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf

ÇENGEL, Y.; y GHAJAR, A. *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones.* [en línea]. 4ª ed. México: McGraw-Hill, 2011. [Consulta: 17 marzo 2021]. Disponible en: <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edición.pdf>

CHAFLA YAMBAY, Edison Xavier. Análisis del rendimiento de algoritmos de entrenamiento de redes neuronales artificiales, aplicadas al modelamiento dinámico de represas hidroeléctricas, mediante el error de predicción del nivel de embalse de agua [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba- Ecuador. 2019. pp. 1-109. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <http://dSPACE.espace.edu.ec/bitstream/123456789/9697/1/20T01148.pdf>

CHICAIZA CONCHAMBAY, Pablo Rubén. Automatización del Intercambiador de Calor de flujo líquido del laboratorio de termodinámica de la carrera de Ingeniería Mecánica [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Quito - Ecuador. 2014. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <https://dSPACE.ups.edu.ec/handle/123456789/7550>

CHUCUYA HUALLPACHOQUE, R.; y SALDAÑA BERNUY, L. “Influencia de los regímenes de flujo en el coeficiente global de transferencia de calor en intercambiadores de calor tipo concéntricos y tubo coraza”. *INGnosis Revista de Investigación Científica* [en línea], 2018, (Perú) 4(1), pp. 94-104. [Consulta: 08 febrero 2021]. Disponible en: <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/INGnosis/article/view/2064/1749>

CORRIOU, J. P. *Control Process: Theory and Applications*. London: Springer-Verlag, 2004. ISBN 978-1-84996-911-6, pp. 164-166

EMERSON. *Asme / Isa / Iec Valve Sizing* [blog]. Fisher Controls International, 2018. [Consulta: 08 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.emerson.com/documents/automation/catalog-12-en-1630608.pdf>

GIL, Daniel. Desarrollo de una plataforma software de bajo coste implementada en MATLAB para la automatización de plantas industriales virtuales [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Valencia. (España). 2018. [Consulta: 04 septiembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/27436>

GUTIERREZ, F.; et al. “Efectos de uso del software matemático matlab sobre el rendimiento académico de un grupo de estudiantes repitentes de matemática básica”. *PURIQ* [en línea], 2020, 2(2), pp. 181-191. [Consulta: 05 febrero 2021]. ISSN 2664-4029. Disponible en: <https://doi.org/10.37073/puriq.2.2.78>

HARRISON, Jim. *Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association* [en línea]. 8ª ed. Tarrytown - New York: Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., 1999. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: [http://www.webaero.net/ingenieria/equipos/Estaticos/Intercambiadores%20de%20calor/Normativa_Codigo/TEMA/1999_TEMA%20\(8th%201999\)%20Standards%20Of%20The%20Tubular%20Exchanger.pdf](http://www.webaero.net/ingenieria/equipos/Estaticos/Intercambiadores%20de%20calor/Normativa_Codigo/TEMA/1999_TEMA%20(8th%201999)%20Standards%20Of%20The%20Tubular%20Exchanger.pdf)

HERNÁNDEZ, Emil; et al. “Estudio del comportamiento de un Control MPC [Control Predictivo Basado en el Modelo] comparado con un Control PID en una Planta de Temperatura”. *Revista Facultad De Ingeniería* [en línea], 2014, 23 (37), pp. 45-54. [Consulta: 22 marzo 2021]. ISSN 0121-1129. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v23n37/v23n37a05.pdf>

IBARRA, Eusebio; et al. “Metodología de diseño mecánico para intercambiadores tipo tubos-coraza, cabezal flotante y tubos en U”. *Centro Azúcar* [en línea], 2019, 46(4), pp. 68-78. [Consulta: 11 febrero 2021]. ISSN 2223-4861. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n4/2223-4861-caz-46-04-68.pdf>

JIMENEZ, Jesús. Minimización de la generación de entropía y optimización termoeconómica para el análisis de intercambiadores de calor de tubos y coraza con cambios de fase [en línea] (Proyecto de Grado). (Maestría) Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla-Colombia. 2018. [Consulta: 05 febrero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/3784/TPMMEC%201009C.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LLANGARÍ LLIGUÍN, Valeria Priscila; y SOLÍS SÁNCHEZ, Germán Eduardo. Diseño térmico e hidráulico de un intercambiador de coraza y tubos [en línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2012. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2355/1/15T00517.pdf>

MACHUCA, Fiderman; y URRESTA, Oscar. “Software para la enseñanza de la dinámica y control de intercambiadores de calor de tubos y coraza”. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* [en línea], 2008, (44), pp. 52-60. [Consulta: 11 agosto 2021]. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/18475>

MAILA CARRILLO, Edison Raúl. Diseño e implementación de un sistema de control automático para la destiladora de reactor de vidrio en la planta piloto del departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Ingeniería Química [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. 2019. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20232>

MATHWORKS. *Administración de Licencias.* [blog]. 2020. [Consulta: 02 febrero 2021]. Disponible en: https://es.mathworks.com/help/matlab/matlab_env/manage-your-licenses.html

MATHWORKS. Interfaz Gráfica de Usuario (GUI). [blog]. 2020. [Consulta: 02 febrero 2021]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>

MARTÍNEZ HUERTAS, Diego Fernando. Diseño de software para intercambiadores de calor de coraza y tubos con cinco sustancias diferentes [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Los Libertadores, Bogotá D.C. 2017. [Consulta: 10 febrero 2021]. Disponible en:

<https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1162/martinezdiego2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

MENESES, Leidy; et al. “Computational fluid dynamics in shell and tube heat exchangers analysis”. *Revista UIS Ingenierías* [en línea], 2019, 18(2), pp. 237-244. [Consulta: 7 septiembre 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7000037>

MONTALVO TAPIA, Byron Fernando. Elaboración de una guía de prácticas de las librerías de MATLAB para aplicaciones en Ingeniería Eléctrica [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador. 2019. [Consulta: 12 febrero 2021]. Disponible en: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9561/2/04_MEL_052_TRABAJO_GRADO.pdf

NARVÁEZ MORENO, Daniel Estuardo. Desarrollo de una aplicación computacional para la automatización de planos y dibujos en 3D para el diseño de recipientes a presión bajo el código ASME Sec. VIII Div. 1. (Trabajo de Titulación). Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí-Ecuador. 2008, p. 20. [Consulta: 04 febrero 2021]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/340/1/T-ESPE-024365.pdf>

NATIVIDAD, Erik; y TOVAR, Héctor. Diseño de una planta virtual de un intercambiador de calor en Matlab, con enlace al sistema de control Freelance [en línea] (Trabajo de titulación). Instituto Politécnico Nacional, México. 2013, pp. 10. [Consulta: 17 febrero 2021]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12974/1/TESIS.pdf>

PAREDES, Adrián; y BARROS, César. Modelamiento y simulación de un intercambiador de calor [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Guayaquil – Ecuador. 2015. pp. 7 - 85. [Consulta: 23 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/31067/1/Modelamiento%20y%20simulaci%C3%B3n%20de%20un%20intercambiador%20de%20calor.pdf>

PÉREZ, C. *Matlab y sus aplicaciones en las ciencias y la ingeniería* [en línea]. Madrid: Pearson Educación, 2002. [Consulta: 08 febrero 2021]. ISBN 978-84-205-3537-1. Disponible en: http://181.176.223.4/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=13304#.YCIto-hKjIW

PEY, Guillermo Rafael. Control de un intercambiador de calor [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad de Buenos Aires, Argentina. 2018, pp. 12. [Consulta: 12

febrero 2021]. Disponible en: <http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/tesis/LSE-FIUBA-Trabajo-Final-CESE-Guillermo-Pey-2018.pdf>

REYES, Maida; et al. “Impacto ecológico de los Intercambiadores de calor de tubo y coraza”. *Ingeniería Energética* [en línea], 2015, 36(1), pp. 104-112. [Consulta: 08 febrero 2021]. ISSN 1815-5901. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v36n1/rie11115.pdf>

RODRÍGUEZ ÁNGELES, Eduardo. Apuntes de la Unidad de Aprendizaje de Sistemas Lineales y Señales [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería. Toluca - México. 2017. pp. 17. [Consulta: 18 marzo 2021]. Disponible en: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/69940/secme-25134_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SINGH, Gurbir; y KUMAR, Hemant. “Computational Fluid Dynamics Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger”. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology* [en línea], 2014, 1(3), pp. 66-70. [Consulta: 8 septiembre 2021]. ISSN 2349-8404. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/281104582>

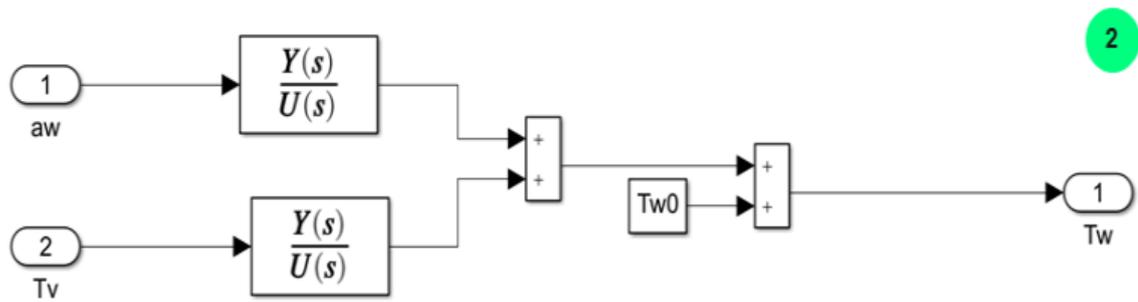
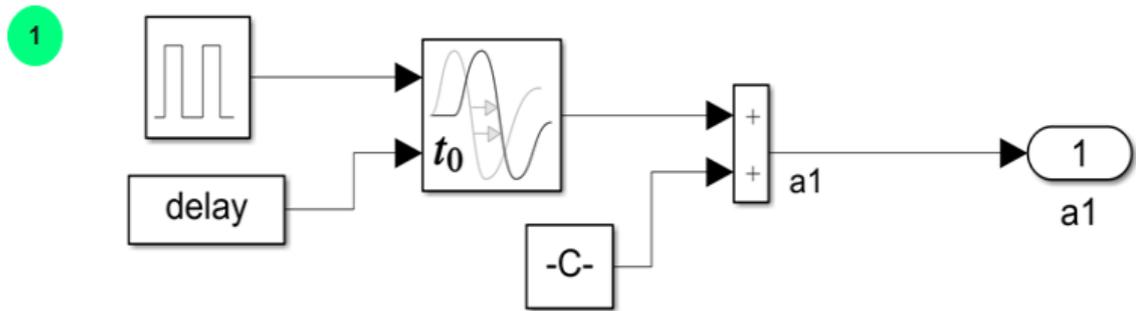
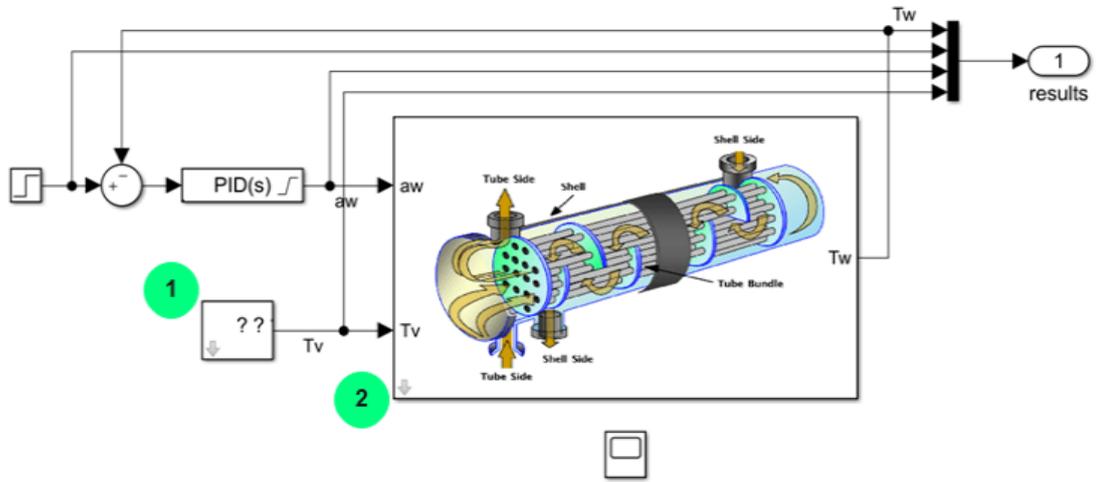
SMITH, Carlos; y CORRIPIO, Armando. *Control automático de procesos. Teoría y práctica*. México: Limusa, 1991. ISBN 9681837916, pp. 17-219

ANEXOS

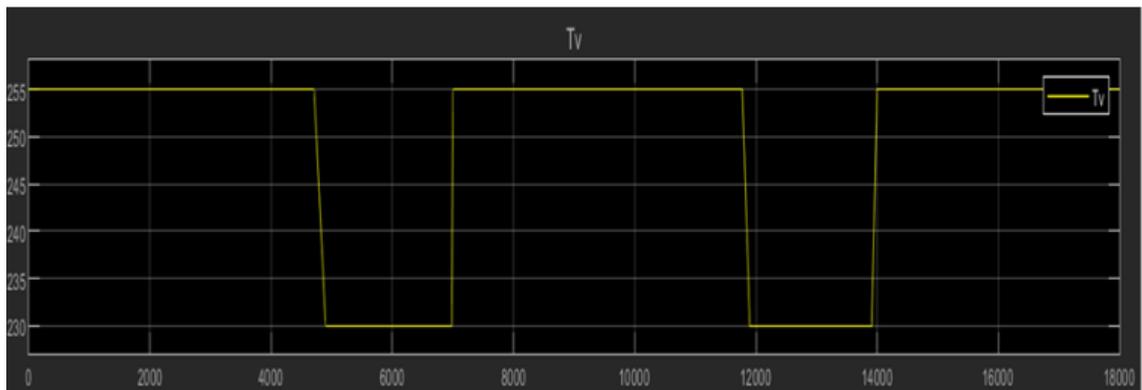
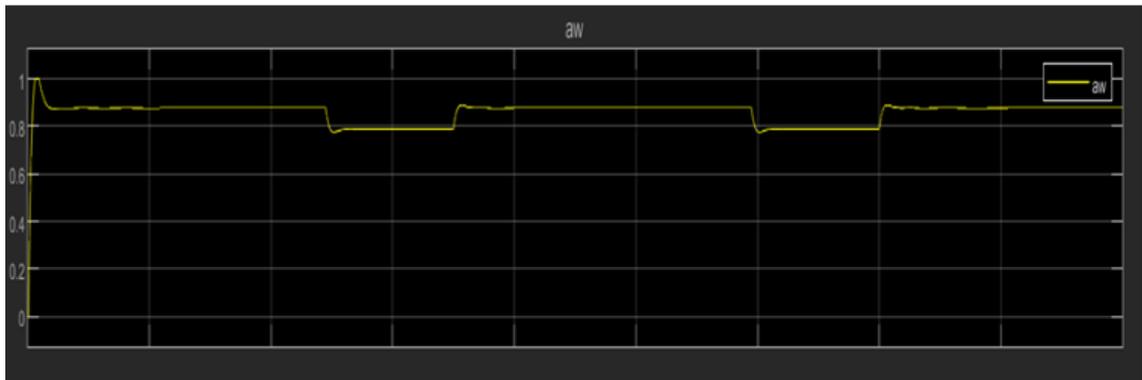
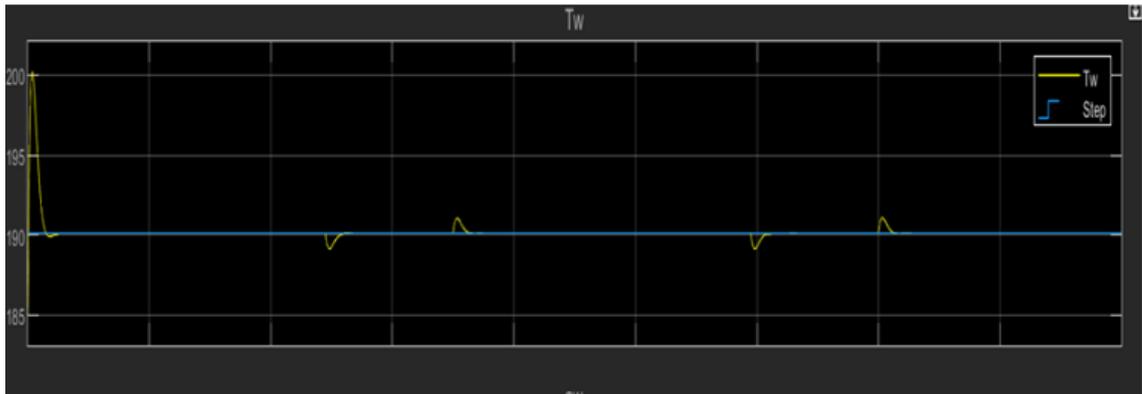
ANEXO A: CÓDIGO DE LA FUNCIÓN .M EN EL SCRIPT DE MATLAB (MODELADO Y SIMULACIÓN)

```
1 - clear; clc;
2 - addpath('func/');
3 - addpath('func/model/');
4 - addpath('func/function/');
5 - addpath('func/classes/');
6 - addpath('src/');
7 - addpath('ui/');
8 - addpath('db/');
9
10 %% Parámetros del intercambiador de calor [Caso Paper]
11 % Lado del agua
12
13 - vw = 304.315;           % Volumen del lado frío           [ft3]
14 - U = 0.0743;           % Coef. de transferencia de calor.           [BTU/s ft2 °F]
15 - Atc = 197.9200;      % Área de transf. de calor           [ft2]
16 - cv1 = 1.3479;       % Coef.de caudal de la válvula de agua           [ft3/s psi^0.5] (191 gpm/psi^0.5)
17
18 - wi0 = 31.1500;       % Entrada de agua estacionaria           [lb/s]
19 - Twi0 = 80;           % Temp. de entrada del agua estacionaria           [°F]
20 - Two0 = 185;          % Temp. de salida del agua estacionaria           [°F]
21 - Tvo0 = 240;          % Temp. de salida de vapor estacionaria           [°F]
22
23
24 - rhow = 62.4;          % Densidad del agua           [lb/ft3]
25 - cpw = 1.00;          % Capacidad calorífica           [BTU/lb °F]
26
27 % https://www.engineeringtoolbox.com/densities-specific-volumes-dry-air-water-vapor-d\_1575.html
28 % https://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d\_162.html
29
30 %% Parámetros de la función de transferencia
31 - k1=(cpw*(Twi0-Two0))/((cpw*wi0)+(U*Atc/2));           % TF1 gain (W) [°F s/lb]
32 - k2=(cpw*wi0)/((cpw*wi0)+(U*Atc/2));                 % TF2 gain (Tv) [adm]
33 - thaul=(rhow*cpw*vw)/((cpw*wi0)+(U*Atc/2));           % Const.de tiempo.1 [s]
34
35 - params.model.num1 = k1*cv1*rhow;
36 - params.model.num12 = k1;
37 - params.model.num2 = k2;
38 - params.model.den1 = [thaul 1];
39 - params.model.Tw0 = Two0;
40 - params.model.Tv0 = Tvo0;
41
42
43
44
45
46
47 - params.pulseTv.lowerLimit = 230;
48 - params.pulseTv.a = 25;
49 - params.pulseTv.p = 7000;
50 - params.pulseTv.w = 70;
51 - params.pulseTv.d = 0;
52
53 - params.setpoint.time = 6000;
54 - params.setpoint.vi = 190.1000;
55 - params.setpoint.vf = 190.1000;
56
57 - params.sim.start_time = 0;
58 - params.sim.end_time = 18000;
59
```

ANEXO B: HEAT EXCHANGER MODEL – SIMULINK, SUBSYSTEMS6 Y SUBSYSTEMS4



ANEXO C: RESPUESTA DEL SISTEMA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR (CASO-PAPER)



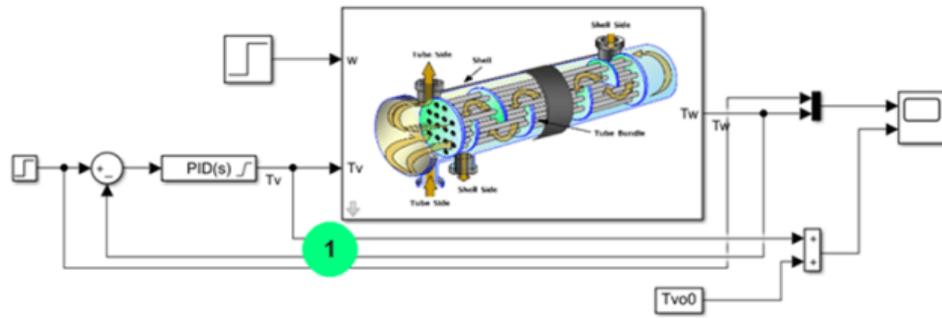
ANEXO D: CÓDIGO DE LA FUNCIÓN .M EN EL SCRIPT DE MATLAB CASO - LIBRO

```

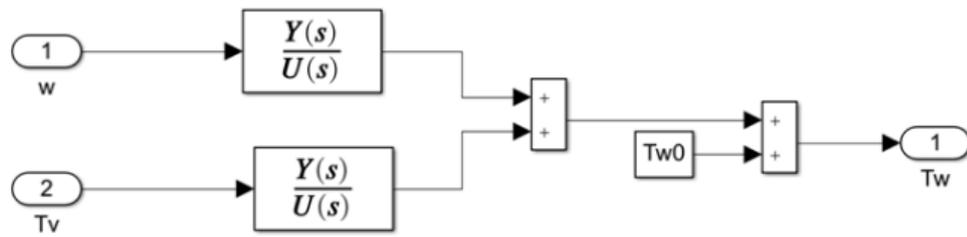
1 - clear; clc;
2 - addpath('func/');
3 - addpath('func/model/');
4 - addpath('func/function/');
5 - addpath('func/classes/');
6 - addpath('src/');
7 - addpath('ui/');
8 - addpath('db/');
9
10 %% Parámetros del intercambiador de calor
11 % Lado del agua
12
13 - vw = 2.472;           % Volumen del lado frío           [ft3]
14 - U = 0.007337;       % Coef. de transferencia de calor.           [BTU/s ft2 °F]
15 - Atc = 10.76339;    % Área de transf. de calor           [ft2]
16 - cv1 = 0.4255;     % Coef.de caudal de la válvula de agua           [ft3/s psi^0.5] (100 gpm/psi^0.5)
17
18 - wi0 = 0.9185;     % Entrada de agua estacionaria           [lb/s]
19 - Twi0 = 69.53;     % Temp. de entrada del agua estacionaria           [°F]
20 - Two0 = 85.73;     % Temp. de salida del agua estacionaria           [°F]
21 - Tvo0 = 273.83;    % Temp. de salida de vapor estacionaria.           [°F]
22
23 - rhow = 62.4;       % Densidad del agua           [lb/ft3]
24 - cpw = 1.00;       % Capacidad calorifica           [BTU/lb °F]
25
26 % https://www.engineeringtoolbox.com/densities-specific-volumes-dry-air-water-vapor-d\_1575.html
27 % https://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d\_162.html
28
29 % Parámetros de la función de transferencia
30 - thau1 = (rhow*cpw*vw)/((cpw*wi0)+(U*Atc/2));           % Const.de tiempo.1 [s]
31 - k1 = (cpw*(Twi0-Two0))/((cpw*wi0)+(U*Atc/2));           % TF1 gain           [°F s/lb]
32 - k2 = (cpw*wi0)/((cpw*wi0)+(U*Atc/2));           % TF2 gain           [adm]
33
34 - params.model.num1 = k1;
35 - params.model.num2 = k2;
36 - params.model.den1 = [thau1 1];
37 - params.model.Tw0 = Two0;
38 - params.model.Tv0 = Tvo0;
39
40 - params.pid.kp = 0.0817085864243566;
41 - params.pid.ki = 0.0313900095788195;
42 - params.pid.kd = 0;
43 - params.pid.n = 100;
44
45 - params.pert.time = 6000;
46 - params.pert.vi = 0.9185;
47 - params.pert.vf = 1.2860;
48
49 - params.setpoint.time = 600;
50 - params.setpoint.vi = 85.73;
51 - params.setpoint.vf = 94.73;
52
53 - params.sim.start_time = 0;
54 - params.sim.end_time = 12000;
55

```

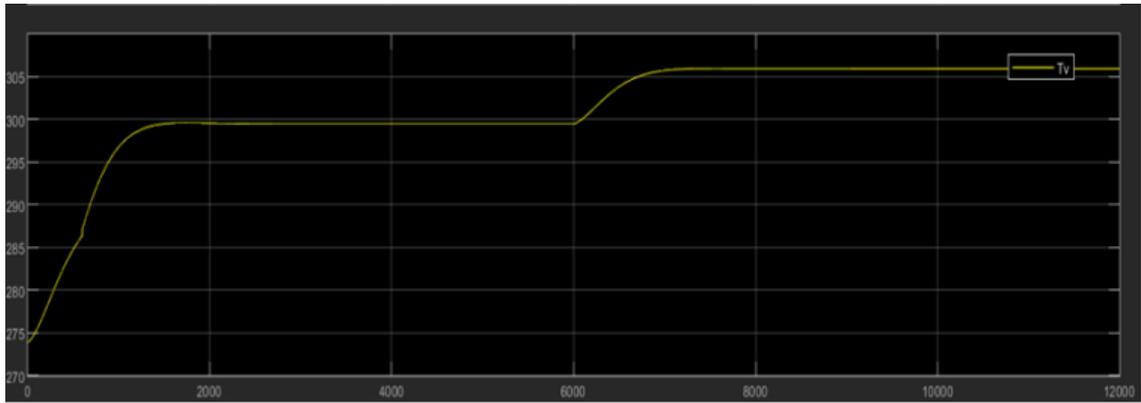
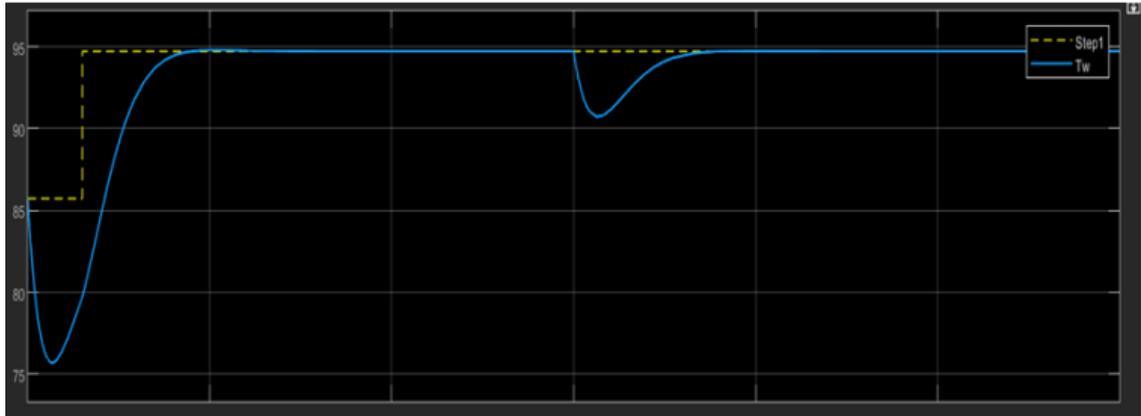
ANEXO E: HEAT EXCHANGER MODEL VALID – SIMULINK Y SUBSYSTEMS1



1



ANEXO F: RESPUESTA DEL SISTEMA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR CASO - LIBRO



ANEXO G: EJERCICIO TOMADO DEL LIBRO CONTROL PROCESS

A thermostatic bath (Fig. 4.25) is in charge of maintaining the temperature of a water stream circulating at low velocity by means of a coil in which water vapor circulates. The bath temperature T is the controlled variable while the vapor temperature T_v is the input and the water flow rate F is a modeled disturbance. The process can be approximately represented by the following energy balance: with the nominal variables and parameters defined in Table 4.7.

$$F C_p (T_{in} - T) + U A (T_v - T) = M C_p \frac{dT}{dt} \quad (4.82)$$

By linearizing the system around its steady state, the Laplace model can be written as

$$T - 0.0793 f: _ 0.331 P (S) - 1 + 2.58 S v(S) 1 + 2.58 S (S) \quad (4.83)$$

Suppose that, during process identification, errors occur which lead to the following model.

$$G(s) = 0.10/1+3s$$

While the disturbance is not measured. This model is used to calculate the controller equal to

$$G_c = 1/G f = 1+3s/ 0.10 (1+\tau s)$$

In the present case, the filter time constant was chosen to be equal to $T = 1$ min. In simulation, instead of a Laplace transfer function for process G , the exact state-space model was used as well as for the influence of the water flow rate disturbance. In this manner, the simulation result is closer to the real process behavior; it takes into account modeling errors and unmolded disturbances. After having reached its steady state, the process is first subjected to a set point step at temperature T of 5K at $t = 50$ min, and undergoes flow rate disturbance of 10 kg/min at $t = 100$ min. In Fig. 4.26, it is clear that the set point is reached fast and with very little overshoots, and that the disturbance is rejected without difficulty with a fast comeback to the set point. We notice that the variation of the vapor temperature which is the manipulated input is very steep at the set point step time and that probably in reality it would be limited.

Figure 4.26: Internal model control of a thermostatic bath. Top: set point and bath temperature response to a set point step of 5K at $t = 50$ min and a flow rate disturbance of 10 kg/min at $t = 100$ min. Bottom: manipulated input, i.e. vapor temperature.

Table 4.7: Nominal variables and parameters of the thermostatic bath

Parameter	Nomenclature	Value	Units
Water flow rate	F	25.00	kg.min ⁻¹
Inlet water temperature	T _{in}	294.00	K
Water mass to heat	M	70.00	kg
Global heat transfer coefficient	UA	9000.00	J.min ⁻¹ .K ⁻¹
Heat capacity of liquid water	C _p	4180.00	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Bath temperature	T	303.00	K
Vapor temperature	T _v	407.5	K



MANUAL DE USUARIO

**INTERCAMBIADOR
DE CALOR TIPO
CORAZA Y TUBOS**

Realizado por: Blanca Judith Hurtado Hurtado
Correo: blanca.hurtado@esoch.edu.ec
Director de tesis: Ing. Darío Fernando Guamán Lozada
Miembro de tesis: Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Definiciones:	1
1.1.1.	<i>¿Qué es un intercambiador de calor?</i>	1
1.1.2.	<i>Control PID</i>	1
1.1.3.	<i>Componentes del sistema de control</i>	1
2.	MODELO A ESTUDIAR	2
3.	VARIABLES A CONTROLAR	2
4.	PARÁMETROS A SER MODIFICADOS	2
5.	DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRAFICA/APP DESIGNER	3
5.1.	Acceso	3
5.2.	Entorno de trabajo	4
5.2.1.	<i>Design view</i>	4
5.2.2.	<i>Code view</i>	7
6.	CREACIÓN DE LA PLATAFORMA	8
6.1.	Datos establecidos en la simulación	8
6.2.	Descripción del diagrama	10
6.3.	Sistema de control	11
6.4.	Resultados obtenidos	11
6.5.	Base de datos	12
7.	PASOS PARA LA INSTALACIÓN DEL EJECUTABLE.	13
8.	PASOS PARA LA INSTALACIÓN DEL DB SQLITE	14

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definiciones:

1.1.1. *¿Qué es un intercambiador de calor?*

Es el más utilizado a nivel industrial química y en amplia variedad de aplicaciones como son: calefacción, acondicionamiento de aire, entre otros. Están compuestos por un conjunto de tubos paralelos encerrados en una carcasa cilíndrica llamado coraza. La transferencia calórica tiene lugar a prevención que uno de los fluidos se agita por el interior de los tubos de tal manera que el otro se agita por fuera de estos, es decir por la coraza.

Ventajas

Reducción de tiempo

Productividad de alto ingreso

Mejor calidad en las líneas de producción

Supresión de la intervención humana

Desventajas

Desempleo

Reducción del poder de compra

1.1.2. *Control PID*

La función del controlador automático es comparar el valor real de la salida de la planta con el valor deseado. Además, consta de tres parámetros distintos como son:

Proporcional: Depende de la configuración del lazo de control y del rango de calibración.

Integral: Corrige el error permanente que produce la acción proporcional cuando se realiza los cambios en la variable.

Derivativo: Es esencial en procesos de este tipo, donde el tiempo de retardo suele ser grande cuando se producen cambios de las variables de proceso.

1.1.3. *Componentes del sistema de control*

Dispositivo final de control: El elemento final es más que una válvula de control su función principal es regular, impedir y enlazar el fluido de proceso.

Variables controladas: Es una variable de salida donde mide la porción o condición que va a ser controlada.

Variables Manipuladas: Es una variable de entrada que el controlador modifica para afectar el valor deseado.

2. MODELO A ESTUDIAR

Para el uso que se desea dar al intercambiador de calor se requiere controlar la temperatura de salida del agua fría, este flujo de vapor se puede emplear en un sistema de calefacción, donde se usaría la energía del fluido para calentar el aire del ambiente. Para controlar la temperatura del fluido frío a la salida, se manipulará el flujo de agua por medio de una válvula controlando la cantidad de agua transferido por medio de la temperatura de vapor.

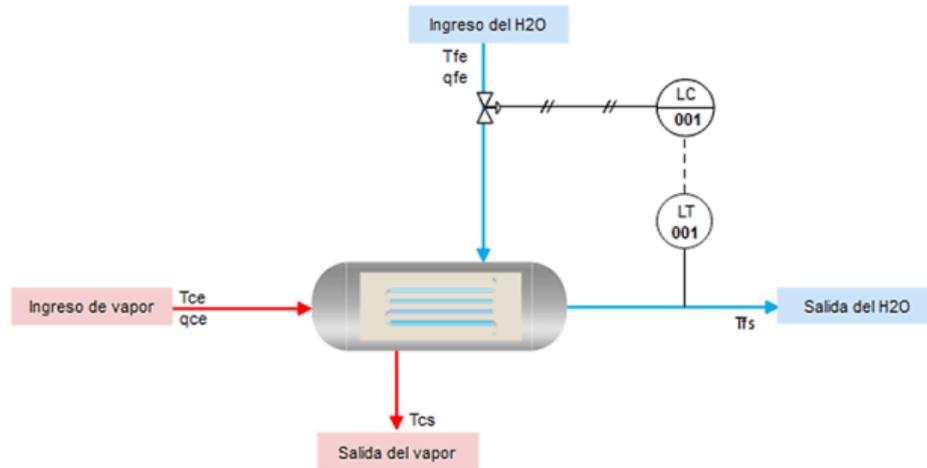


Figura 1-1: Diagrama P&ID de un intercambiador de calor

3. VARIABLES A CONTROLAR

Tabla 1-3: Variables a controlar

Variable por controlar	Controlador
Flujo de vapor (Variable manipulada).	-
Temperatura de salida de agua fría (Variable controlada).	PID

Fuente: Hurtado, Judith, 2021.

4. PARÁMETROS A SER MODIFICADOS

En la siguiente (tabla 4-1) se detalla los parámetros ingresado para realizar variaciones al proceso y evidenciar los cambios realizados.

Tabla 4-1: Parámetros a ser modificados

Sugerencias	Parámetros	Unidades
Va depender a los casos o ejemplos colocados en la parte superior de la pantalla principal de la interfaz.	Temperatura de entrada H2O fría	°F
	Temperatura de entrada del vapor	°F
	Entrada del fluido frío	lb/s
	Densidad del agua	lb/ft ³
Va a cambiar debido al material del equipo y fluido a circular	Capacidad Calorífica	BTU/lb °F
	Coefficiente global de transferencia de calor	BTU/s ft ² °F
	Área de transferencia de calor	ft ²
	Apertura de válvula	%

Fuente: Hurtado, Judith, 2021.

Posteriormente, tenemos las variables controladas del PID que va a depender del comportamiento de la planta. Mediante la (tabla 4-2) se encuentran parámetros establecidos que serán modificados en el entorno de trabajo de la interfaz gráfica debido al comportamiento de la planta. Esto nos ayudará a comprender de mejor manera la materia de control de procesos automáticos con respecto a la simulación y control de un intercambiador de calor tipo coraza y tubos.

Tabla 4-2: Parámetros a ser modificados

Sugerencias	Parámetros	Unidades
Datos calculados mediante la aplicación PID Tune/Matlab situada en la herramienta simulink, esto va a depender del diagrama a controlar.	PID kp	Âdm
	PID ki	Âdm
	PID kd	Âdm
	PID n	Âdm
Tiempo inicial y final de la estabilización.	Generador de pulso	Segundos

Fuente: Hurtado, Judith, 2021.

5. DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRAFICA/APP DESIGNER

5.1. Acceso

Par la utilización de la herramienta App Designer es necesario tener instalado en su ordenado MATLAB cualquier versión requerida.

Abrir App Designer mediante dos métodos:

Escribir en el comando Windows de MATLAB lo siguiente "App designer".

En la parte superior izquierda encontramos la palabra HOME de matlab, seleccionamos lo siguiente: "New", "App", y "App Designer", como se ilustra en la (gráfico 1-5).

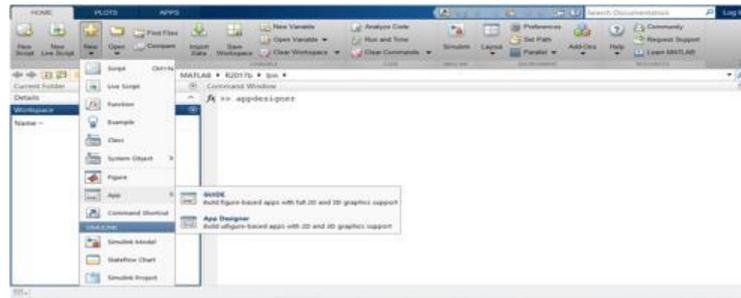


Gráfico 1-5: Opciones para ingresar a la App Designer

5.2. Entorno de trabajo

Una vez seleccionado la herramienta App Designer por cualquiera de los dos métodos definidos procedemos a abrir la pestaña de trabajo que se puede visualizar en la (gráfico 1-5):

En la pantalla principal como se puede visualizar se divide principalmente en 2 pestañas que se encuentra en la parte superior derecha como son: Designer view y Code view.

5.2.1 Design view

Es aquel que permite al usuario la utilización de diferentes componentes gráficos y dar forma visual el desarrollo de una buena aplicación.

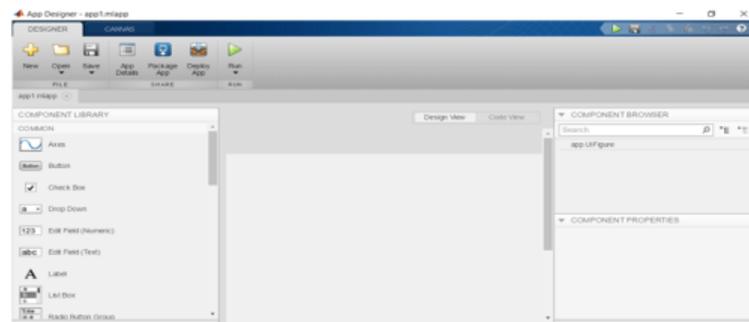


Gráfico 2-5: Entorno de trabajo de App Designer

A continuación, detallamos sus componentes:

Componentes de Librería

Concede al usuario unos múltiples elementos y presenta cuatro subdivisiones entre ellas están: En la parte superior izquierda tenemos "COMPONENT LIBRARY" son comandos disponibles a utilizar en la interfaz gráfica y presenta cuadro subdivisiones, como son: "común componentes", "container", "instrumenta" y "component browser" en la aplicación App designer que lo detallamos a continuación:

Común

Presenta componentes básicos hacia el progreso de la interfaz en los que se puede visualizar en la (gráfico 3-5) tenemos tablas, áreas de texto, numéricas, slider, caja de contenido y check boxes entre otras.

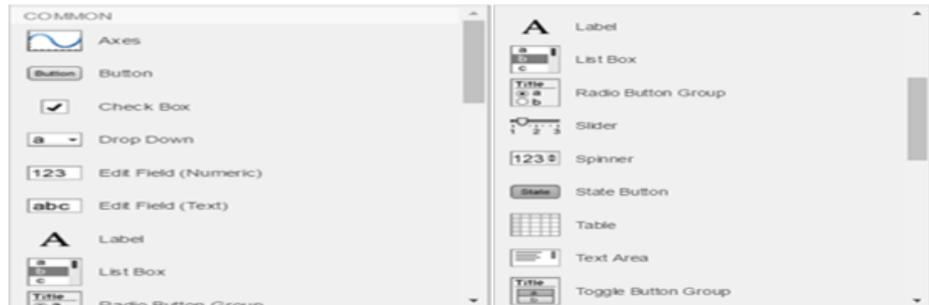


Gráfico 3-5: Component Library de App Designer

Tabla 1-5: Elementos de la herramienta App Designer

Control	Descripción
Check box	Indica el estado de una opción o atributo.
Edit Field	Muestra el valor en un formato de visualización numérica.
Pop-up menú	Provee una lista de opciones.
Spinner	Nos ayuda a verificar que el dato introducido sea correcto.
List Box	Muestra una lista deslizable.
Push Button	Invoca un evento inmediatamente.
Radio Button	Indica una opción que puede ser seleccionada.
Toggle Button	Solo dos estados, “on” o “off”
Slider	Usado para personificar un rango de valores
Static Text	Muestra un string de texto en una caja.
Panel Button	Adjunta botones como un grupo.
Button Group	Permite exclusividad de selección con los radios button.
Table	Es utilizada para representar datos mediante una matriz.
Drop Down	Nos da la opción de seleccionar entre dos o más opciones.

Fuente: Hurtado, Judith, 2021.

Recipiente

Nos ofrece el uso de paneles que puede contener todos los elementos destinados para el funcionamiento gráfico de la aplicación al igual que las barras necesarias para el progreso de la interfaz.

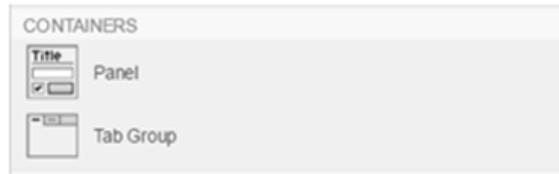


Gráfico 4-5: Componentes de envase

Instrumentación

Nos ofrece elementos como medidores y palancas para la ejecución y activación dentro el desarrollo de la interfaz. Por lo tanto, es uno de los elementos utilizados en la simulación.

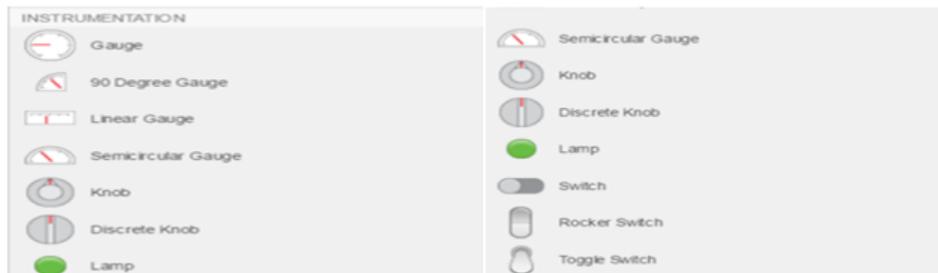


Gráfico 5-5: Component Library de App Designer -Instrumentación

Tabla 2-5: Elementos de la herramienta App Designer – Instrumentación

Control	Descripción
Knob	Es un elemento que no admite cantidades precisas.
Lamp	Es utilizado para indicar estados en la aplicación de forma visual, es decir, al ejecutar un callback se produce un cambio.
90 Degree Gauge	Son medidores de temperatura y velocidad.
Linear Gauge	Proporciona 90 degree y son circulares y linear gauges

Fuente: Hurtado, Judith, 2021.

Cargar componentes

Es aquel elemento que permite obtener una vista de todos los componentes implementados por el usuario y está organizado por jerarquía.

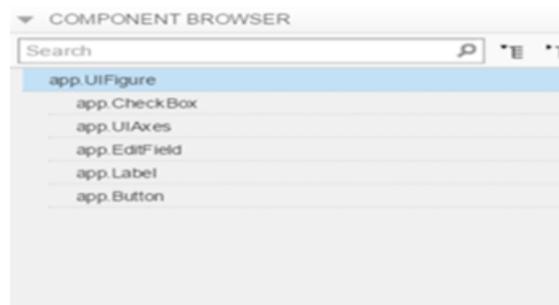


Gráfico 6-5: Componentes del navegador

UI Propiedades de figuras

UI Figure nos ofrece un listado completo para personalizar los dispositivos gráficos de la GUI permitiendo ejecutar al usuario las funciones asociadas a la herramienta "Callbacks".



Gráfico 7-5: Propiedades de las figuras

5.2.2. Code view

Provee un entorno de manipulación mediante la implementación de componentes y a través de eso no envía un código asociado a la aplicación de forma inmediata donde podemos manipular de manera que nos garantiza el funcionamiento respectivo para el desarrollo del presente proyecto.

Callbacks

Es una función que contiene la ejecución completa que ha sido creado por el elemento arrastrado en la pestaña del entorno de trabajo. Es decir, este código en general solo existe una función callback la cual se ejecuta al ser presionada por el botón inicio.

Funciones

Son aquellas funciones que corresponden a códigos reutilizables debido a los callback que contienen utilidades de funcionamiento respectivo dentro de la aplicación.

Propiedades privadas

Son aquellas variables globales que pueden servir como variables principales de entrada para callback con el objetivo de generar una exportación de información del Work Space interno.

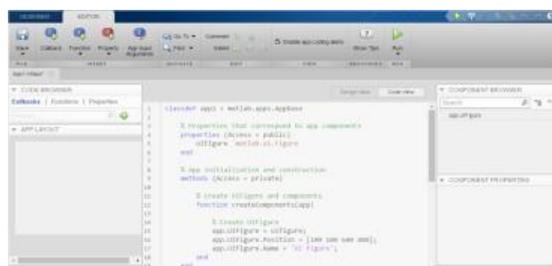


Gráfico 8-5: Pestaña de ventana Code View

Teniendo en cuenta el objetivo principal de cada Component Library, procedemos a realizar el desarrollo empleado para la simulación del presente proyecto.

6. CREACIÓN DE LA PLATAFORMA

Al tener instalada la aplicación procedemos a abrir como se ilustra en el siguiente gráfico

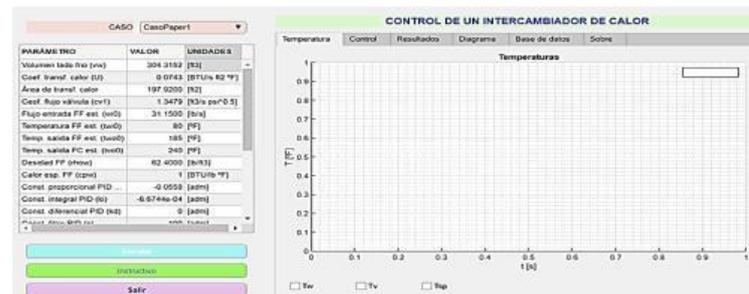


Gráfico 1-6: Pantalla principal de la interfaz grafica

La presente aplicación consta de tres secciones puntualizadas:

Datos establecidos

Temperatura

Controladores

Diagramas

Tabla de resultados

Base de datos

Configuración de botones

6.1. Datos establecidos en la simulación

Se coloca aquellos datos físicos establecidos del intercambiador de calor y variables importantes para la simulación como se puede visualizar en la presente (tabla 1-7). Los datos obtenidos son desarrollados mediante las ecuaciones diferenciales del modelado, por ende, tienen condiciones iniciales y finales del proceso.

Tabla 1-6: Datos manipulados en la simulación con respecto al artículo

Parámetros	Unidad	Magnitud
Flujo de entrada	lb/s	31.15
Volumen lado frío (agua a calentar)	ft ³	304.3152
Temperatura de entrada	°F	80
Temperatura de salida	°F	188.8
Temperatura de vapor	°F	240
Presión de vapor	Psi	150
Conductividad Térmica	BTU/ s ft °F	0.00722

Coefficiente Global de transferencia	BTU/s ft ² °F	0.0743
Área de transferencia de calor	ft ²	197.9203
Capacidad calorífica	BTU/lb °F	1.00

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 2-6: Datos manipulados en la simulación con respecto al libro

Parámetros	Unidad	Magnitud
Flujo de entrada del agua	lb/s	0.9185
Volumen del lado frío (agua a calentar)	ft ³	2.472
Temperatura de entrada del agua	°F	69.53
Coefficiente de transferencia de calor	BTU/s ft ² °F	0.007337
Capacidad calorífica del agua	BTU/lb °F	1.00
Temperatura del baño	°F	85.73
Temperatura de vapor	°F	273.83
Densidad del agua	lb/ft ³	62.4

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Control

Son datos obtenidos dentro de simulink ingresando cada función de transferencia fluido del agua w y temperatura del vapor T_v y con la ayuda inmediata del PID Tune App logramos determinar los datos.

Tabla 3-6: Datos obtenidos del PID Tune App

Parámetros	Unidad	Magnitud
Constante proporcional PID (kp)	Adm	-0.0558
Constante integral PID (ki)	Adm	-6.6744E-04
Constante diferencial PID (kd)	Adm	0
Constante de filtro PID (n)	Adm	100

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Set point

Se implementó un diagrama de bloques en la herramienta de simulink donde se coloca las variables y parámetros a calcular con la ejecución de un generador de pulso y delay.

Tabla 4-6: Datos establecidos para el Set point

Parámetros	Unidad	Magnitud
Set point – tiempo (st)	s	6000.00
Set point – valor inicial (vi)	°F	190.1000
Set point – valor final (vf)	°F	190.1000

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 5-6: Datos establecidos para el tiempo de simulación

Parámetros	Unidad	Magnitud
Sim – tiempo inicial (ti)	s	0.00
Sim – tiempo final (tf)	s	7200.00

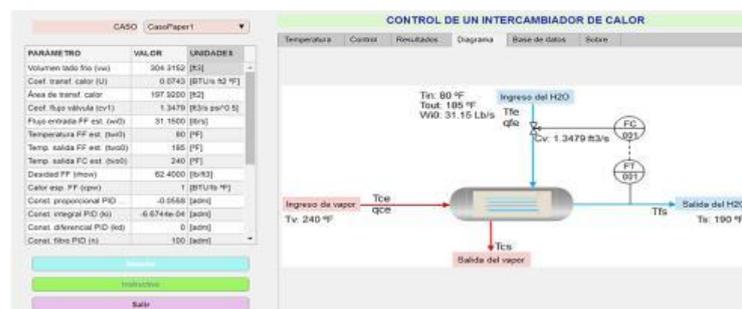
Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

Tabla 6-6: Datos implementados para un generador de pulso

Parámetros	Unidad	Magnitud
Pulso – límite inferior (II)	°F	230.00
Pulso – amplitud (a)	°F	25.00
Pulso – periodo (p)	s	7000.00
Pulso – ancho (w)	%	70.00
Pulso – retraso (d)	s	0.00

Realizado por: Hurtado, Judith, 2021.

6.2. Descripción del diagrama

**Gráfico 2-6:** Diagrama del sistema de inspección

Es de sumamente importante colocar un diagrama P&ID para su mejor entendimiento el propósito principal es calentar el fluido que se procesa, de una temperatura de entrada T_{wi} , a cierta temperatura de salida T_s del proceso con el fin de obtener el valor deseado. Una de las maneras para alcanzar el objetivo es medir la temperatura, después comparar con el valor

deseado. Por otro lado, se puede usar el flujo de vapor para corregir una desviación, en otras palabras si la temperatura está por arriba del valor deseado, entonces procedemos a cerrar la llave de vapor para logra disminuir el flujo del mismo hacia el intercambiador de calor. Y si la temperatura está por debajo del valor deseado, se procederá abrir más la válvula para aumentar el flujo de vapor hacia el interior del intercambiador de calor.

6.3. Sistema de control

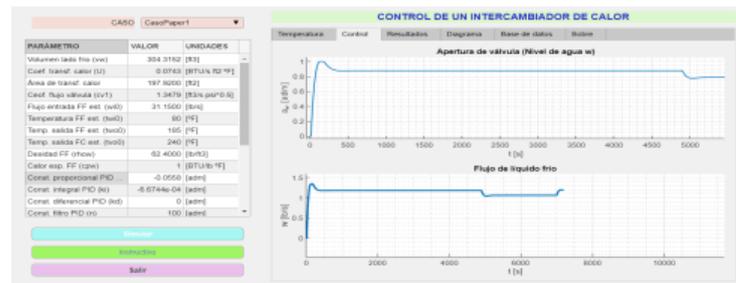


Gráfico 3-6: Diagrama del controlador de la válvula

En la pantalla de control podemos visualizar dos graficas que demuestra lo que es la apertura de la válvula y el flujo de líquido frío.

El modelo tiene lo siguiente que va a controlar la temperatura de la salida del fluido en función de la apertura de la válvula de agua es decir, que controla el flujo de ingreso y salida del agua para controlar la temperatura de salida del agua lo que hace si la temperatura sobrepasa sobre el set point de T_w lo que va hacer el controlador es abrir más la válvula para que pasa más el agua a través del intercambiador y eso hace que reduzca la temperatura de T_w , además se agregó una perturbación haciendo que el vapor que pasa al otro lado del intercambiador cambie su temperatura en función de un pulso y el controlador lo que va hacer aquí el controlador es abrir o cerrar la válvula de agua para regular el cambio de temperatura o el efecto que tiene el cambio de temperatura que tiene el vapor.

6.4. Resultados obtenidos



Gráfico 4-6: Diagrama del sistema de inspección de temperatura

En la pantalla de la temperatura nos presenta una gráfica general controlando los tres parámetros como son: Temperatura del agua T_w , Temperatura del vapor T_v y la temperatura del Set point T_{sp} . Como se puede visualizar tenemos 3 checkbox donde pueden ser activados los tres al mismo tiempo o en general 1 a la vez para una visualización entendible.

Como se puede visualizar en el (grafico 4-6) tenemos tres curvas tomando en cuenta el T_w , válvula y la perturbación. La gráfica del medio nos indica la válvula de entrada de agua abriendo y cerrado un poco dependiendo como va variando la temperatura del vapor que entra al otro lado de intercambiador cuando aumenta la temperatura aumentase nota que también aumenta la temperatura del agua que pasa a través del intercambiador a la salida por ende, es ir abriendo la válvula de agua para reducir de nuevo la temperatura y acercarnos al set point, pero luego baja la temperatura y baja la temperatura de agua por ende volvemos a cerrar la válvula para que pase menos agua y se concentre el calor y vuelva a subir. La perturbación del modelo es la temperatura del vapor que entra al otro lado del intercambiador.



Gráfico 5-6: Pantalla de resultados de la simulación

Mediante la representación del (gráfico 5-6) podemos visualizar detenidamente datos obtenidos de la simulación y control a través de una tabla el comportamiento de las variables del proceso a controlar como es el caso de: Temperatura de vapor T_v y temperatura del fluido frío T_w .

6.5. Base de datos

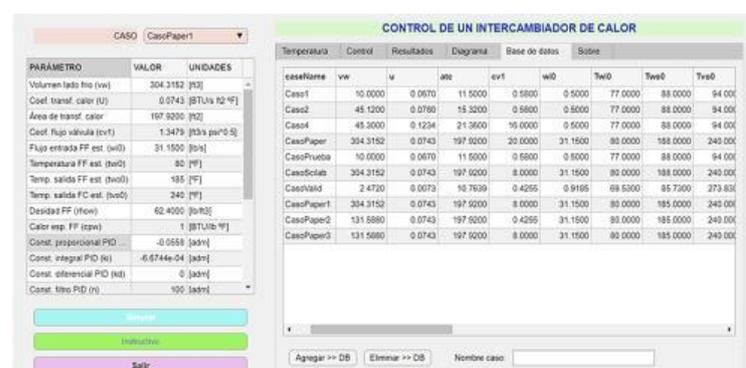


Gráfico 6-6: Base de datos utilizados en la simulación

Son datos que podemos almacenar bajo la aplicación donde tendremos acceso a cambiar y crear casos de igual forma guardar de manera definida en el presente apartado para calcular inmediatamente.

Observación: Para la creación de una plataforma de datos simplemente insertamos los parámetros necesarios nos localizamos en la opción "Base de datos" y en la parte inferior encontramos tres apartados nos vamos al parámetro "Nombre del caso" colocamos el nombre que deseemos y finalmente en la opción "Agregar >> DB". Y de igual manera tenemos la opción de eliminar.

7. PASOS PARA LA INSTALACIÓN DEL EJECUTABLE

Localización del archivo de instalación

Archivo de instalación .rar

Descomprimir el archivo en una carpeta

Nos ubicamos en la carpeta for_redistribution

Carpeta for_redistribution archivos ejecutables

Espacio de instalación mínimo (1GB)

Encontraremos dos archivos importantes: Aplicación y Runtime de MATLAB.

Ejecutamos de inmediato (Ejecutar como administrador)

Una vez ejecutada se visualiza un asistente de instalación

Se nos cargara una pantalla

Presionamos "Next"

En la siguiente pantalla el instalador le pide siguiente:

Ubicación de instalación de archivos.

Directamente nos vamos al disco C "Programa Files"

Si desea se elige la opción "Crear acceso directo"

Presionamos "Next"

Instalación de Runtime de MATLAB:

Ubicación del runtime se irá directamente a "C/Programan Files"

Y después presionamos en "Next"

Pantalla final de la instalación:

Presionamos "Install"

Esperamos unos minutos

Y nos saldrá "Finish" y hemos culminado.

Una vez instalada tenemos los siguiente:

Abrimos directamente la carpeta de instalación

Nos encontramos con 3 carpetas que son "app data", "application" y "uninstall"

De las tres carpetas mencionadas abrimos la carpeta "application".

Dentro de la carpeta "application" encontramos cuatro archivos "icon", "readme", "splash", "Heat Exchanger UI".

Abrimos directamente el archivo "Heat Exchange UI" clic derecho y seleccionamos "Abrir (Ejecutar como administrador)" y finalmente tenemos acceso al desarrollo.

8. PASOS PARA LA INSTALACIÓN DEL DB SQLITE

Sqlite es un sistema gestionado de base de datos como también se puede utilizar en otros lenguajes de programación de Java, Python, Ruby, Ziploc Plus entre otros, es de dominio público se puede utilizar libremente gratis tanto para vienes empresariales como privados.

La necesidad que se presenta para instalar sqlite es debido a las tablas de la plataforma de datos de la simulación como es el caso de la carpeta db archivo heat Exchanger Model .db a más de eso en la carpeta función, carpeta clases y finalmente el archivo Data Manager .m el fin de este archivo es establecer conexión.

Por ejemplo:

Function obj = create DB (obj) Establecer conexión

Sqlite [obj], dbFile, 'create'); Comando create

El comando create es el que establece conexión como menciona el objeto del método create DB es crear la plataforma de datos y si no se encuentra el objeto, heat Exchanger Model .db lo crea.

Teniendo en cuenta lo mencionado procedimos a la instalación de SQLITE.

- Ingresamos mediante el siguiente link: <https://sqlite.org/download.html>
- Seguido a eso nos dirigimos al apartado Download.
- Nos dirigimos "Precompiled Binaries for Windows" y nos descargamos el siguiente documento `sqlite-dll-win64-x64-3360000.zip` (880.05 KiB) [4-bit DLL (x64) for SQLite versión 3.36.0.]
- Nos dirigimos a la descarga creamos una carpeta lo descomprimos seguido a eso se nos presentará dos carpetas como son: `sqlite3.def` y `sqlite3.dll`.
- Después vamos nos dirigimos a este equipo clic y propiedades.

Configuración avanzada del sistema.

Se nos desplegara una ventana y damos clic en la opción "Ventana de entorno".

Buscamos la variable "Path" doble clic se nos abrirá otra ventana donde colocaremos la ruta del documento donde descomprimimos.

Copiamos la dirección, regresamos a la variable Path le damos en nuevo colocamos la dirección damos aceptar en todas las ventanas.

Posteriormente, abrimos una consola cmd, escribimos `sqlite3 enter`. Donde nos indicará que ya estamos trabajando con nuestra base de datos.

- Seguido a eso buscamos el siguiente link: <https://sqlitebrowser.org/dl/> y podremos observar que tenemos la parte gráfica.
- Nos dirigimos al apartado Download "Windows" 3era opción DB Browser for SQLite - Standard installer for 64-bit Windows clic y se descargará automáticamente.
- Esperamos unos segundos damos clic en la descarga y se nos desplegó la siguiente ventana y damos clic en "Next".



Gráfico 1-8: DB Browser for SQLite

En la presenta pantalla, aceptamos las condiciones seguido a eso damos clic en "Next", debido a eso se nos desplegará la siguiente venta que nos indica el apartado DB Browser (SQLite) seguido de Desktop.

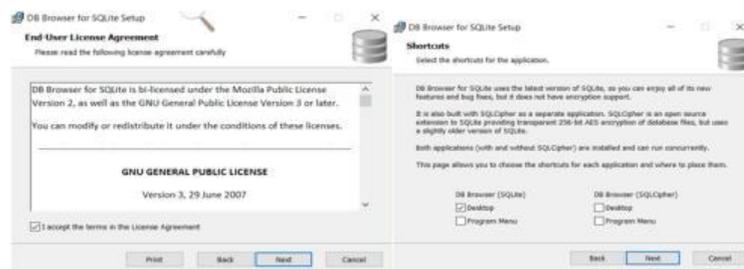


Gráfico 2-8: DB Browser for SQLite setup

En la presente figura damos clic en "Next" y se nos desplegará la pantalla de instalación clic en "Install" esperamos unos minutos y finalmente damos clic en Finish.

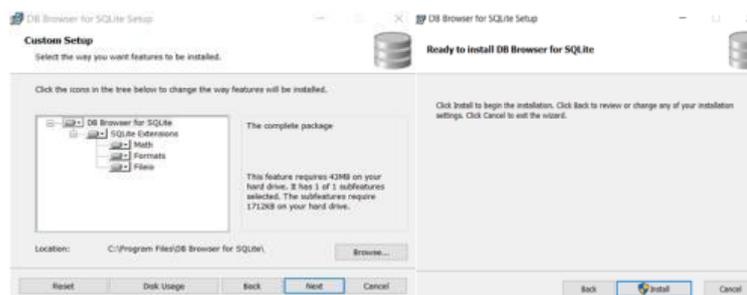


Gráfico 3-8: DB Browser for SQLite setup



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE UNIDAD DE
PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11 / 11 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Blanca Judith Hurtado Hurtado</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.11.11
12:32:22 -05'00'



2086-DBRA-UTP-2021