

**Facultad de Ingeniería Eléctrica y Ciencias
Computacionales**

"Implementación de un sistema automático para control de temperatura en proceso
de cocción del patacón"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Electrónico

Presentado por:

Ricardo Alejandro Valencia Ventura

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme salud y perseverancia para culminar con éxito mi carrera universitaria.

A mis padres Martha, Marco Antonio mi esposa Kerly por brindarme su apoyo incondicional, a mis hijos Alejandra y Ricardo por ser soporte fundamental durante todo este proceso.

Al Ing. Damián Larco e Ing. Ronald Ponguillo, que me guiaron en este proyecto, brindándome su tiempo y conocimientos necesarios para la solución del proyecto.

Ricardo Alejandro Valencia Ventura.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOLE realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Ricardo Alejandro Valencia Ventura

EVALUADORES

Ing. Damián Larco

PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Ronald Ponguillo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Con la demanda de producto en el mercado la línea de producción de patacón se vio en la necesidad de buscar mayor producción de producto; para lo cual existían dos opciones la primera incorporar un freidor nuevo o reacondicionar la puesta en marcha del freidor parado para así poder cumplir con el objetivo de aumentar el despacho de seis contenedores semanales adicionales. Ante los altos costos y tiempos de entrega de un freidor nuevo la mejor opción fue habilitar un equipo que estructuralmente se encontraba completo, pero con los componentes faltos de mantenimiento que debían ser reemplazados. Es así como comenzó el proceso de implementación del proyecto; primero realizando un levantamiento de información de los equipos y componentes averiados e instrumentación faltante.

Una vez realizado los mantenimientos a los equipos averiados y colocados los componentes eléctricos y electrónicos, se procedió a elaborar el código de programación del PLC y obtener el controlador PID con el que se logró controlar la temperatura.

Para la implementación del control automático de temperatura del aceite vegetal los parámetros del bloque PID del PLC fueron determinados de forma teórica y experimental, para el primer caso se obtuvo el modelo matemático del intercambiador de calor realizando un balance de energía, analizando a los elementos del quemador y freidor. Para el modelo experimental se realizó el monitoreo de las temperaturas del freidor y aceite térmico del intercambiador mediante el PLC y una base de datos en Excel para después poder identificar los datos realizar filtros y encontrar los puntos de operación del sistema, con estos datos y el uso de la herramienta process se determinaron las funciones de transferencia y así la curva obtenida se asemeja en un 90.7 % de la curva real del sistema con esto se pudo obtener los datos para el controlador y que los ceros y polos cumplían con los requerimientos del diseño (5% sobrenivel porcentual y 2 minutos de tiempo de estabilización).

ABSTRACT

With the demand for product in the market the production line of patacon was forced to look for greater production of product; for which there were two options the first incorporate a freidor new or recondition the commissioning of the freidor stopped to be able to comply with the objective of increasing the release of six containers additional weekly. Before the high costs and times of delivery of a new freidor the best option was to enable a team that structurally was finished, but with the components lacking in maintenance that must be replaced. It is as well as their began the process of implementation of the project; first realizing a raising of information of the teams and damaged components and lacking instrumentation.

Once the maintenance to broken equipment and placed the electric and electronic components, we proceeded to develop the code of PLC programming and obtain the PID controller with the achievement check the temperature.

For the implementation of automatic control of temperature of the vegetable oil the parameters of the PID block of the Plc were certain theoretical and experimental, for the first case was obtained the mathematical model of the heat exchanger by performing a balance of energy, analyzing the elements of the burner and freidor.

For the experimental model there was realized the monitoring of the temperatures of the freidor and thermal oil of the interchanger by means of the plc and a database in Excel later to be able to identify the information to realize filters and to find the points of operation of the system, with these data and the use of the process tool is determined the transfer functions and thus the curve obtained is similar in a 90.7 % of the curve the actual system with this we were able to obtain the data for the controller and that the zeros and poles meet the requirements of the design(5% overshoot and 2 minutes of time of stabilization).

Keywords: *maintenance, control PID, PLC, programming, interchanger, mathematical model, experimental model, overshoot, transfer function.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Solución propuesta.....	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Marco Teórico.....	5
1.7 Procesos de transferencia de calor.....	6
1.7.1 Transferencia de calor por conducción.....	6
1.7.2 Transferencia de calor por convección.....	7
1.7.3 Transferencia de calor por radiación.....	8
1.8 Línea de producción.....	9
1.8.1 Calderas.....	9
1.8.2 Bombas industriales.....	10

1.8.3	Proceso de fritura.....	11
1.9	Parámetros para el control de alimentos fritos	12
1.10	Sistemas Automatizados	13
1.10.1	Controlador lógico programable.....	14
1.10.2	Variadores de velocidad eléctricos.	15
1.10.3	Controladores de temperatura.	16
CAPÍTULO 2.....		18
2.	Metodología	18
2.1	Requerimientos estándares para el diseño	19
2.2	Alternativas de diseño	19
2.3	Criterios de Selección y Ponderación.....	20
2.4	Matriz de Decisión	20
2.5	Alternativas.....	20
2.5.1	Selección del tipo de controlador	20
2.5.1.1	Criterio de selección y ponderación del tipo de controlador	21
2.5.1.2	Matriz de decisión para el tipo de controlador	22
2.5.2	Selección del actuador eléctrico lineal.	22
2.5.2.1	Criterio de selección y ponderación para el tipo de actuador eléctrico lineal. 24	
2.5.2.2	Matriz de decisión para el tipo de actuador eléctrico lineal.	25
2.5.3	Selección del tipo de sensor de temperatura	25
2.5.3.1	Criterio de selección y ponderación para el tipo de sensor de temperatura	27
2.5.3.2	Matriz de decisión para el tipo de sensor de temperatura	28
2.6	Diseño detallado.....	29
2.6.1	Verificación del estado de los equipos.....	30

2.6.2	Diseño Esquemático	32
2.6.3	Selección y dimensionamiento de equipos	32
2.6.3.1	Selección de PLC.....	32
2.6.3.2	Selección de sensores de temperatura.....	35
2.6.3.3	Selección de actuador eléctrico lineal.....	37
2.6.3.4	Control PID teórico.....	40
2.6.3.5	Control PID experimental.....	52
2.6.3.6	Diseño de pantalla de controlador lógico programable.....	53
2.6.3.7	Programación de PLC	55
CAPÍTULO 3.....		56
3.	RESULTADOS Y ANALISIS	56
3.1	Análisis de Resultados	56
3.1.1	Comparación de funciones de transferencias obtenidas	56
3.1.2	Diagramas eléctricos de conexiones.....	59
3.1.3	Pantalla final de PLC	60
3.1.4	Equipo funcional.....	62
3.1.5	Análisis de costos de implementación de proyecto.....	64
CAPÍTULO 4.....		67
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	67
4.1	Conclusiones.....	67
4.2	Recomendaciones.....	68
Apéndices		71

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral.

ISO Organización Internacional de Estandarización.

DIN Instituto Alemán de Normalización

FIEC Facultad de Ingeniería De Electricidad y ciencias computacionales.

SIMBOLOGÍA

Plc	Controlador lógico programable
Cpf	Capacidad calorífica del fluido frío
Cpc	Capacidad calorífica del fluido caliente
\dot{V}_f	Flujo volumétrico del fluido frío
\dot{V}_c	Flujo volumétrico del fluido caliente
$\dot{m}_f = W_f$	Flujo másico del fluido frío
$\dot{m}_c = W_c$	Flujo másico del fluido caliente
ρ_f	Densidad del fluido frío
ρ_c	Densidad del fluido frío
U	Coefficiente global de transmisión
A	Área de transferencia de calor
V_f	Volumen del fluido frío.
V_c	Volumen del fluido caliente

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1, Transferencia de calor por conducción.....	7
Figura 1. 2, Transferencia de calor por convección.....	8
Figura 1. 3, Transferencia de calor por radiación [9]	9
Figura 1. 4, Caldera [11].....	10
Figura 1. 5, Caldera [12].....	11
Figura 1. 6, Proceso automatizado de envase de agua [13]	13
Figura 1. 7, Diagrama funcional de una PLC [15].....	15
Figura 1. 8, Variador de frecuencia SIEMENS [17]	16
Figura 1. 9, Sistema de control de temperatura [18].....	17
Figura 2. 1, Actuador motorizado	23
Figura 2. 2, Actuador neumático.....	24
Figura 2. 3, Sensor PT 100.....	26
Figura 2. 4, Sensor RTD.....	27
Figura 2. 5, Sensor termocupla.	27
Figura 2. 6, Micrologix 1766 – L32WA implementado en equipo Nothum.	33
Figura 2. 7, Sensor RTD PT-100 con conexión de cabeza.	35
Figura 2. 8, Especificaciones técnicas de sensor RTD PT-100.....	36
Figura 2. 9, Medidas de sensor RTD PT – 100.	36
Figura 2. 10, Conexión de 3 hilos RTD PT – 100.	37
Figura 2. 11, Actuador eléctrico lineal seleccionado.....	38
Figura 2. 12, Hoja de datos de actuador eléctrico lineal.	39
Figura 3. 1, Diseño esquemático de las funciones de transferencia en Matlab.	57
Figura 3. 2, Ventana de menú para obtención de la función de transferencia.....	58
Figura 3. 3, Diagrama comparativo de la función de transferencia.....	59
Figura 3. 4, Diagrama CAD de área de fritura.....	73
Figura 3. 5, Diagrama esquemático de circuitos de control de freidor Nothum.....	74
Figura 3. 6, Pantalla principal del sistema	60
Figura 3. 7, Segunda pantalla del sistema.....	61
Figura 3. 8, Tercera pantalla del sistema	61
Figura 3. 9, Cuarta pantalla del sistema	61

Figura 3. 10, Quinta pantalla del sistema61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1, Matriz de decisión para la selección del controlador	22
Tabla 2. 2, Matriz de decisión para el actuador.	25
Tabla 2. 3, Matriz de decisión para la elección del sensor de temperatura.	28
Tabla 2. 4, Módulos por incorporarse en PLC	35
Tabla 2.5, Ubicación de sensores en equipos.	37
Tabla 2. 6, Parámetros de selección de actuador eléctrico lineal seleccionado.	39
Tabla 3. 1, Funciones de transferencia obtenidos con la prueba de aceite y agua.	57
Tabla 3. 2, Equipo controlador de temperatura para proceso de fritura de patacón.	62
Tabla 3. 3, Componentes del equipo con su respectiva cotización.	64
Tabla 3. 4, Cotización de servicio de mantenimiento de equipos.	65
Tabla 3. 5, Costo total del proyecto.	66

ÍNDICE DE PLANOS

1. Diagrama esquemático de circuitos de control freidor nothum.....108
2. Lista de elementos de diagramación esquemática.....109
3. Diagramación esquemática de circuitos de control de freidor nothum.....110

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los requerimientos del mundo actual, donde el tiempo y cantidad de producción han sido las principales metas de los administradores de cada compañía, se ha abierto paso al campo de la automatización de las líneas de producción, esto gracias a los beneficios económicos creados al implementar estos sistemas en el procesamiento de materia prima.

Sus rendimientos en materia de ahorro en costos de personal, eliminación de errores por maniobras humanas, reducción de riesgos para el personal y aumento de producción han sido las principales cartas de presentación de esta rama aplicativa de la ingeniería.

Los principales retos que afronta el funcionamiento automático de un proceso son el cumplimiento de las normas técnicas y sanitarias para la preparación de alimentos, el correcto manejo de la materia prima y el cumplimiento con los estándares de calidad que cada compañía agrega a su producto.

En el caso específico de este documento se enfoca en la línea de producción de alimentos fritos a partir de producto crudo y descascarado. Se cuenta con una máquina freidora de alimentos marca Nothum, semi-automática, que ha estado paralizada por años debido a su falta de mantenimiento y optimización del proceso. Se realizará la puesta en marcha de todos los elementos de la máquina, reemplazando los que ya hayan cumplido su vida útil, para luego establecer los componentes a adicionar para lograr alcanzar la meta de producción por hora, conjuntamente la mejora en el proceso de transferencia de calor del sistema en su totalidad.

Finalmente se incorporará una interfaz para que el operador pueda comandar todo el proceso desde un sitio y pueda observar constantemente que se cumplan los

parámetros de producción, teniendo la potestad de cambiar valores de temperatura y velocidad de producción según la receta requerida.

1.1 Descripción del problema

Industria dedicada a la exportación de alimentos congelados, lleva años en el mercado exportando patacones hacia los Estados Unidos. En los últimos años el país del norte ha incrementado considerablemente el consumo de snacks de verduras y frutas, sobre todo los de plátano verde en presentaciones de snacks ya sean estos tipos chips o patacones (tostones) [1].

Con el fin de satisfacer en los tiempos establecidos la demanda que ha crecido de manera dinámica; se requirió habilitar una nueva línea de fritura.

La primera opción de la compañía es la compra de un freidor nuevo por motivo de incremento en la demanda de productos fritos; al momento de realizar la cotización notan que el periodo de la importación y puesta en marcha del nuevo equipamiento supera los cuatro meses, y a su vez es mayor al tiempo proyectado para la entrega de la producción solicitada por los clientes.

De esto surge una nueva opción que es reactivar un freidor de sus activos fijos, el cual había estado inhabilitado por aproximadamente 5 años. Al realizar la cotización de la reactivación del freidor industrial marca Nothum se concluye que la renovación conlleva un menor costo financiero, a la vez que el tiempo de implementación y puesta en marcha es menor frente al periodo de importación de la primera opción planteada (45 días aproximadamente).

La descripción del problema incluye el detalle de lo que se va a resolver (requerimientos, restricciones, variables de interés, etc.). La mayoría de este capítulo tiene que estar descrita en tiempo presente.

1.2 Justificación del problema

La automatización de un proceso industrial aumenta el número de unidades producidas por horas, teniendo la ventaja que puede ser monitoreado continuamente por los operadores y puede almacenarse los datos de funcionamiento del sistema para poder tomar correctivos, establecer estadísticas de producción, y determinar las causas y tiempo de interrupción registrados durante un periodo.

A largo plazo, el costo de la implementación de un automatismo se amortiza con el costo de la reducción de personal, pago por servicios médicos por accidentes laborales, aumento del total de producción por hora y la optimización del uso de los recursos para la producción.

1.3 Objetivos

Por todo lo anterior descrito se propone realizar la reactivación de la línea producción teniendo como meta lo siguiente:

1.3.1 Objetivo General

- Implementar un sistema automático que permita controlar la temperatura del freidor continuo en el proceso de cocción del patacón.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Repotenciar el control de temperatura de la línea de calderos para incrementar la producción en un 30%.
- Construir tableros de fuerza y control para la línea completa de producción de frituras (calderos, zona de cocción y control de operador).
- Diseñar una interfaz HMI para el control automático de todo el proceso.

- Rehabilitar o reemplazar los elementos actuadores y sensores que posee la máquina Nothum para garantizar el funcionamiento total de la línea de producción.
- Implementar mejoras en el proceso de producción por medio de sensores y actuadores que inicialmente no posea la máquina Nothum.

1.4 Solución propuesta

A partir del funcionamiento semi-automático de la máquina Nothum, y agregando elementos de control y monitoreo al proceso, se propone realizar el control de la línea de producción por medio de un Programador Lógico Programable (PLC) y un controlador especial para temperatura del sistema de calentamiento del caldero.

Se reemplazarán los elementos que cumplieron su ciclo de vida o que no cumplan las necesidades técnicas para el adecuado control y monitoreo del ciclo. Se adicionarán elementos modernos de conmutación y seguimiento de variables del proceso, y todos ellos serán comandados por los elementos de mando y fuerza de dos nuevos tableros, uno ubicado en el área de calderos y otro ubicado en el centro de control del área de producción.

En el tablero del área de producción se agregará una interfaz HMI para que los operadores puedan gobernar la totalidad del proceso, desde el área de calentamiento hasta la salida de producto frito. Se agregarán bandejas para cables, para soporte de las nuevas instalaciones eléctricas para la mejora de la máquina Nothum.

En el área de calderos se agregarán o readecuarán electroválvulas y sensores de temperatura y presión para el control eficiente del intercambiador de calor que modifica la temperatura del aceite vegetal para la fritura de alimentos.

Con todo lo descrito se reactivará la línea de producción de la máquina Nothum y se espera poder producir 500-600 Kg de producto por hora.

1.5 Alcance

Con este proyecto se busca implementar la automatización y reactivación de manera óptima y eficiente de la línea de producción de fritura que se requiere para incrementar en un 30% la producción de elaboración de patacones.

La automatización de un sistema implica la disminución de operadores que participan dentro del proceso, lo cual repercute de manera positiva en la disminución de tiempos muertos en la producción, provocando el aumento de las cantidades de toneladas de patacones por hora.

En este caso de estudio se habla específicamente de la producción de patacones, más sin embargo al contar con una línea de producción automatizada se pueden modificar las recetas de cocción que implican el cambio de temperaturas y los tiempos de cocción, para poder freír una infinidad de frutas o verduras para lograr potencializar el mercado de snacks.

1.6 Marco Teórico

En el presente capítulo se describen los objetivos planteados, con su respectiva metodología de trabajo a seguir, con el fin de implementar un sistema automático que permita controlar la temperatura de un freidor industrial marca Nothum que permaneció inactivo aproximadamente 5 años, el cual pertenece al conjunto de activos fijos de la empresa, misma que se dedica a la exportación de plátano verde y maduro, procesados y listos para el consumo.

El plátano verde es una excelente opción de exportación debido a que sus costos de cultivación son de poco valor y por ello es considerado un complemento nutricional barato, cabe recalcar que su periodo de sembrar y cosechar se da todo el año lo que conlleva a que su producción sea incesante [2].

Ecuador es un país que lleva mucha ventaja en este medio debido a que es el mayor exportador de plátano de la región latinoamericana, a pesar de ello tiene una lucha constante para la venta del producto terminado (patacones), pues en el país este mercado se realiza comúnmente de manera artesanal y los tiempos de producción son muy elevados, por lo es necesario recurrir a la automatización para lograr maximizar el volumen de producción.

La meta del presente proyecto, que está clasificado internamente como “Proyecto 2026”, es (como su nombre lo describe) aumentar la producción desde 20 Toneladas hasta 26 Toneladas semanales de patacones para la exportación, por medio de la automatización de la línea de frituras.

1.7 Procesos de transferencia de calor

La transferencia de calor es la energía que transita en un cuerpo o entre cuerpos diferentes, debido a una diferencia de temperaturas. Cada vez que se produzca un gradiente térmico la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a otra de menor temperatura, a medida que las temperaturas sean de valores próximos el proceso no se detiene si no que se hace más lento.

La transferencia de calor se puede realizar mediante tres mecanismos que son: conducción, convección y radiación, se debe considerar que pueden producirse de manera combinada [3].

1.7.1 Transferencia de calor por conducción

La transferencia de calor por conducción se da en los materiales conductores, se encuentren estos en estado sólido, líquido, gaseoso, o entre medios diferentes siempre que dichos materiales mantengan contacto físico directo.

La energía empieza a transferirse desde la región con temperatura más alta a la de menor temperatura hasta lograr un equilibrio térmico; a partir de ese momento fluye a través del o los conductores una temperatura constante [4].

En la figura 1.1 se observa una olla que contiene un fluido en estado líquido a temperatura T_2 , entra en contacto con una zona a temperatura T_1 , considerando $T_1 > T_2$ La superficie T_1 transmite calor al fluido mientras transcurre el tiempo hasta llegar al equilibrio térmico.

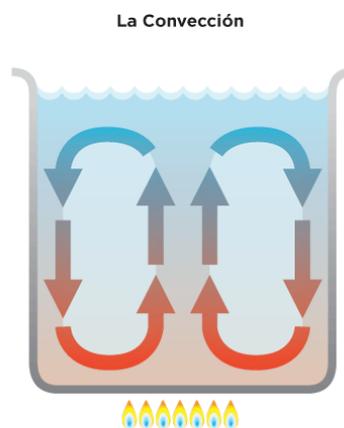


Figura 1. 1, Transferencia de calor por conducción

Fuente: **(Amparo, 2016)**

1.7.2 Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor por convección es un mecanismo propio de los fluidos puesto que estos pueden mantenerse en movimiento libremente a través de una superficie que se encuentra a otra temperatura, provocando que el calor se transfiera en la adyacencia de la frontera de la superficie [6].

El intercambiador de calor es un ejemplo típico de este caso, donde se produce la transferencia de calor por convección al pasar un fluido por las tuberías que forman un serpentín empiezan a transferir calor hacia la frontera de la superficie provocando que el fluido que se encuentra fuera,

en este caso agua empieza a calentarse, tal como se muestra en la figura 1.2

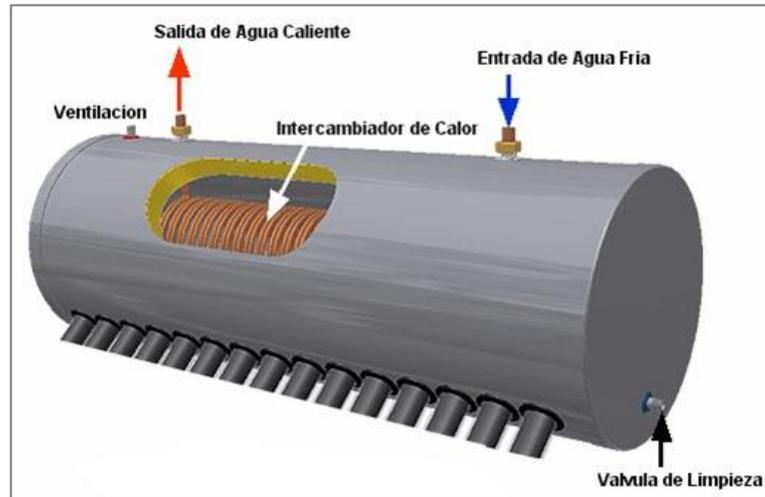


Figura 1. 2, Transferencia de calor por convección

Fuente: **(Amparo, 2016)**

1.7.3 Transferencia de calor por radiación

Cuando un cuerpo aumenta su temperatura por encima de los 0°K emite radiación térmica que se transporta a través de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias, que son capaces de modificar la temperatura de otro cuerpo cercano, de esta manera se manifiesta la transferencia de calor por radiación, siendo este mecanismo el único que no necesita de un contacto físico para producirse [8].

La radiación es un término que se asocia a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas, lo que conlleva a que se presente con mayor frecuencia respecto a los otros mecanismos, en la parte izquierda de la figura 1.3 se puede observar tuberías que emanan mucho calor de su superficie calentando objetos cercanos, la forma de reducir esta radiación es recubrirlas con aislante térmico como se muestra en la parte derecha de la figura 1.3.

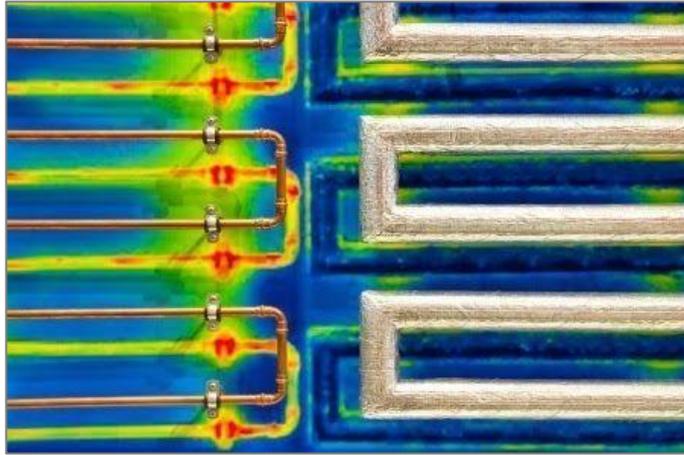


Figura 1. 3, Transferencia de calor por radiación [9]

Fuente: **(Rivas, 2018)**

1.8 Línea de producción

La industria mundial busca constantemente mejorar sus procesos y optimizar el uso de sus recursos para lograr mayores ingresos para la empresa, una de las mejores opciones para lograrlo es crear la línea de producción que como su nombre lo indica es una producción de manera secuencial que se usa para la manufactura de materiales o el procesamiento de productos semi-terminados, es decir un conjunto de subsistemas que siguen una ruta fija.

En cada subsistema se realiza una acción específica de forma manual o automatizada, de esta manera se incrementa la producción debido a la reducción de tiempos muertos a lo largo de la línea.

1.8.1 Calderas

La caldera es una máquina de presión cerrada que puede calentar un fluido generalmente a muy altas temperaturas a partir de la combustión de un combustible o por el uso de energía eléctrica o energía nuclear.

En la industria se usan como intercambiadores de calor por conducción o convección, como se puede interpretar en la figura 1.4 a partir de la

combustión de un combustible, en la caldera se eleva la temperatura del fluido que ingresa al intercambiador (figura 1.2) y pasa por el serpentín para calentar el fluido de salida [10].

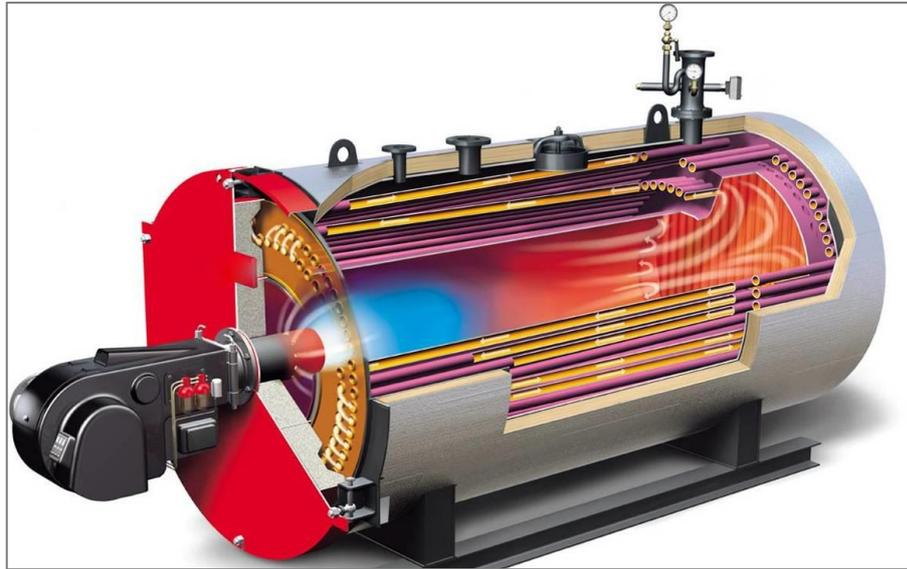


Figura 1. 4, Caldera [11]

Fuente: **(Ingenieros C. , 2016)**

1.8.2 Bombas industriales

La tecnología de bombeo cumple una función primordial en todo proceso de producción donde interviene el transporte de fluidos de una zona a otra, puesto que su funcionamiento principal es convertir la energía mecánica en cinética a través de la producción de presión y movimiento del fluido.

Existen diferentes tipos de bombas industriales entre ellas tenemos:

- Bombas centrífugas
- Bombas de alta presión
- Bombas neumáticas
- Bombas especiales para el tratamiento de aguas
- Bombas sumergibles

En la figura 1.5 se observa una bomba de acero inoxidable destinada para los sectores alimentarios, farmacéuticos e industrial.



Figura 1. 5, Caldera [12]

Fuentes: **(Nonstop, 2015)**

1.8.3 Proceso de fritura

En el arte culinario es un proceso bastante utilizado, consiste en introducir un alimento en un baño de aceites (girasol, oliva, soya, maíz) o grasas calientes (manteca, margarina) que se encuentran a temperaturas muy elevadas en un intervalo de 150°C – 200 °C (depende del alimento a freír).

Este procedimiento puede realizarse de manera superficial o profunda, la primera ocurre cuando el alimento no se sumerge por completo en el aceite caliente, generalmente ocurre cuando el utensilio de cocina es tipo sartén, es decir es un procedimiento casero. Mientras que la fritura profunda se da en procesos más industrializados en freidoras con alto nivel de aceite porque los alimentos necesitan sumergirse totalmente para lograr tener un acabado más uniforme en toda su superficie [13].

El protagonista de este proceso es el Freidor industrial continuo, como su nombre describe tiene la función de freír grandes cantidades de alimento

sin parar la producción. A continuación, se anuncian sus componentes principales para entender mejor su funcionamiento.

Tina de fritura: Recipiente de gran tamaño en la que se almacena el aceite vegetal para proceder a calentarse, debe tener el nivel adecuado de aceite para al momento del hervor no esté propenso a derramarse.

Mallas: Instrumento de acero inoxidable grado alimenticio con la misma forma de la tina de fritura, pero de dimensiones más pequeñas, sirve para recoger los excesos o afrechos del producto que suelen desprenderse al momento de la cocción.

Chimenea: Canal de evacuación de los gases producidos del proceso de cocción.

1.9 Parámetros para el control de alimentos fritos

Para realizar el control del proceso de fritura de alimentos se pueden estimar una infinidad de parámetros que dependen del tipo de alimento y su producto final que la empresa desea transformar.

Los principales parámetros que se analizan para el control son temperatura del aceite, nivel del aceite, tiempo de cocción, temperatura del ambiente [7].

Temperatura del aceite: Existe una temperatura específica para freír cada alimento, misma que pertenece al intervalo de temperaturas (150°C – 200°C) en el que debe mantenerse el aceite vegetal para lograr que el producto final presente una superficie uniforme y totalmente cocida.

Nivel del aceite: El nivel del aceite debe permanecer en un nivel tal que, pueda ser posible sumergir totalmente los alimentos, cumpliendo además con la capacidad de la tina del freidor industrial.

Tiempo de cocción: Es el tiempo que el alimento permanece dentro de la tina del freidor industrial.

Temperatura del ambiente: Es un parámetro fundamental puesto que influye en la temperatura del aceite y tiempo de cocción.

1.10 Sistemas Automatizados

Se define automatizar como el convertir ciertos movimientos en movimientos automáticos o indeliberados.

Los principales procesos de alimentación, tecnología y salud confían a cada una de sus etapas de producción la dirección y precisión del control automático.



Figura 1. 6, Proceso automatizado de envase de agua [13]

Fuentes: **(Zeit, 2016)**

Básicamente constituido por un driver o controlador lógico programable, una fuente de alimentación, un equipo sensor de una variable física y un actuador que provoca el cambio de una etapa o una variable; un sistema automatizado

puede iniciar el proceso desde el manejo de la materia prima, llevarla a su transformación secundaria, medir sus parámetros físicos de calidad, envasarla bajo una norma especial y finalmente realizar la distribución por lotes de todo lo producido.

Un proceso de cocinado industrial se constituye principalmente de los siguientes elementos enunciados, los cuales son el “cerebro” de sus respectivas áreas.

1.10.1 Controlador lógico programable.

Es el alma de la automatización moderna, su función es leer señales digitales o analógicas sobre el estado de un sistema industrial, ejecutar una programación previamente almacenada en su memoria interna, realizar operaciones comparativas-matemáticas-lógicas, y realizar el encendido o apagado de los elementos actuadores del sistema que están conectados eléctrica o digitalmente al PLC. Su velocidad de procesamiento y actuación varía según la tecnología implementada en su composición.

Está constituido, en su versión más básica, por una fuente de alimentación, una unidad de procesamiento central, contadores, temporizadores, memoria de datos, memoria de programa, interfaces de entrada y salida. [14]

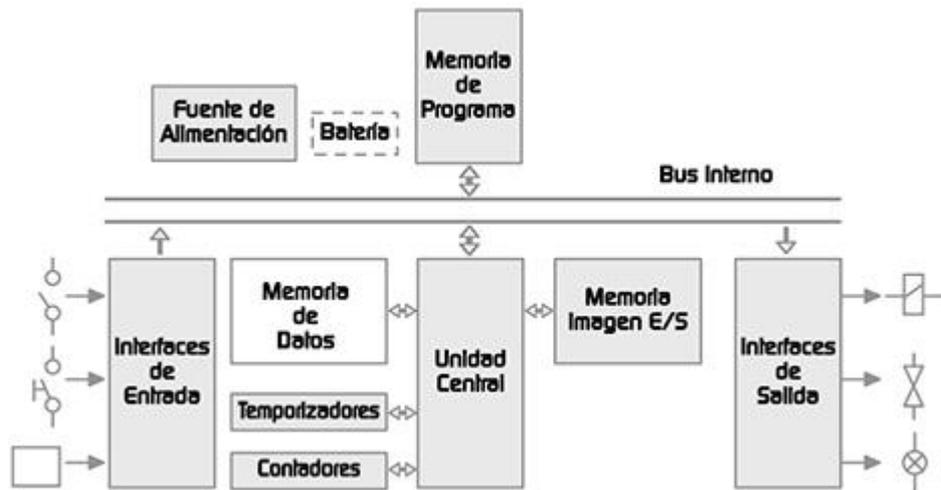


Figura 1. 7, Diagrama funcional de una PLC [15]

Fuente: **(Electrónica, 2014)**

Son programables por PC, a través del software diseñado por cada fabricante según el modelo y marca del PLC; cada unidad tiene diferentes protocolos de comunicación según su aplicación industrial tales como CAN, Profibus, Modbus, entre otros. [16]

1.10.2 Variadores de velocidad eléctricos.

También conocido como controladores de velocidad, permiten el control de la rapidez de giro de un motor por medio del control de dos parámetros:

- Voltaje de alimentación
- Frecuencia.

Se constituyen básicamente de un módulo de control y un módulo de potencia, donde el primero se encarga de monitorear los valores actuales del motor, procesar esta información y posteriormente regular las señales de control que comandan el flujo de potencia en el último módulo. El módulo de potencia utiliza elementos semiconductores, como diodos rectificadores, tiristores, transistores de efecto de campo, por mencionar algunos.



Figura 1. 8, Variador de frecuencia SIEMENS [17]

Fuente: **(Atomatización, 2016)**

1.10.3 Controladores de temperatura.

Es un elemento programable que monitorea la variable de temperatura de un sistema y la mantiene estable durante todo su funcionamiento. Se constituye básicamente de un módulo de control, que se encarga de leer la temperatura del proceso y, según el lazo de control programado, realiza la apertura y cierre del elemento actuador del sistema.

Se puede usar para controlar procesos de enfriado, manutención o calentamiento, esto por medio de dos modelos de mando:

- Modo ON/OFF.
- Modo PID.

El modo ON/OFF se basa en una histéresis donde se establece el límite superior e inferior para que cambie de estado la salida del controlador, encendiendo o apagando el elemento variador de la temperatura según sea la programación del dispositivo.

El modo PID se trata de un control basado en el comportamiento dinámico de la señal de error (diferencia entre el valor de temperatura deseada y la señal medida). La componente P (Proporcional) amplifica o reduce la señal de error para acelerar o disminuir el tiempo de acción del controlador, la componente D (Derivativo) permite predecir qué valor

tendrá la temperatura después del tiempo configurado y decidir la activación o desactivación de la salida del controlador, y finalmente el controlador I (Integral) permite tomar una decisión al controlador basándose en el comportamiento de la señal de error en un tiempo pasado.

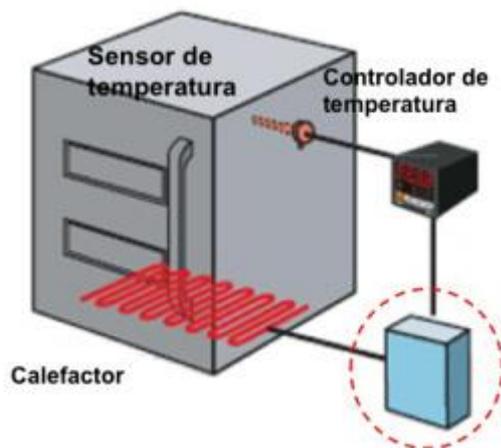
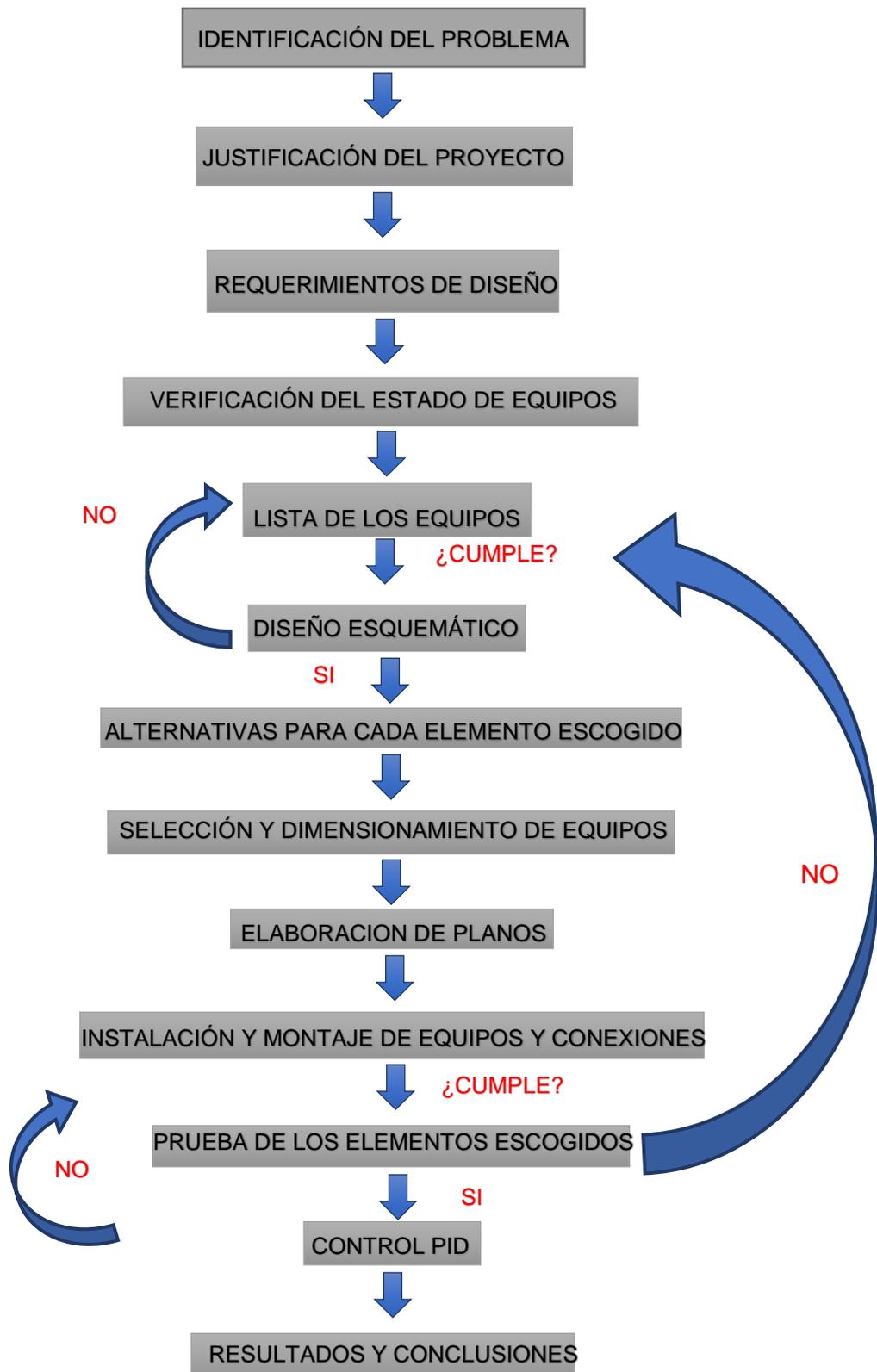


Figura 1. 9, Sistema de control de temperatura [18]

Fuente: **(Industrial, 2014)**

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA



2.1 Requerimientos estándares para el diseño

Los requerimientos de diseño se refieren a variables que establecemos antes de empezar con nuestro diseño, y que son imprescindibles para obtener al final el resultado esperado. Entre estos tenemos aspectos morfológicos que van ligados a la forma, tamaño, estructura, etc. También tenemos aspectos funcionales que están relacionados directamente con variables de funcionamiento de nuestro equipo como presión de trabajo, rangos de temperatura, tiempos de operación, entre otros.

A continuación, se presentarán los factores considerados imprescindibles en nuestro proyecto:

Temperatura de operación:

El equipo que realice el control de temperatura deberá regular temperaturas hasta llegar a la deseada de alrededor de 175°C.

Adaptable:

Los equipos que busquen acoplarse al sistema ya existente de Veconsa deberán ser de fácil adaptación.

Seguridad:

Se debe buscar preservar la seguridad de los operadores de Veconsa; adecuando la puesta en marcha del equipo solo cuando todos los componentes funcionen correctamente.

2.2 Alternativas de diseño

En todo proyecto nunca se tiene en consideración una sola alternativa, ya que esto limita considerablemente el alcance estimado del equipo, por ello en esta sección se presentan diferentes alternativas las cuales, cumplan con los requerimientos establecidos anteriormente. En todo el capítulo 2 se procederá a mostrar las 3 alternativas que presenta nuestro equipo, de las cuales se procederá a seleccionar los más idóneos mediante la implementación de

factores de influencia en cada uno de ellos. Cada factor será descrito a lo largo de esta sección y los mismos nos permitirán conocer tanto las ventajas como desventajas de las 3 alternativas, con esto se puede conocer a ciencia cierta que nuestra elección es la correcta.

2.3 Criterios de Selección y Ponderación

Al momento de la elaboración de todas las alternativas establecidas, de las cuales cada una cuenta con su respectiva descripción se procede con la correspondiente elección de la mejor alternativa, esto se lo realiza mediante la implementación de criterios los cuales son un pilar fundamental para todo diseño de un equipo, estos criterios nacen de una necesidad, dicha necesidad se fundamenta en cumplir con las especificaciones que pida el cliente o usuario. Estos criterios para una mayor comprensión son ubicados en una matriz, las cuales dependiendo del grado de importancia poseerán una calificación acorde a las especificaciones del equipo.

2.4 Matriz de Decisión

Como se indicó en la sección anterior todo criterio que se implemente para la selección de cada uno de los componentes, será descrito del porqué de su elección, y adicionalmente se procederá a la construcción de una matriz, la misma que estará conformada por los criterios y cada uno con su correspondiente calificación o ponderación dependiendo del grado de importancia.

2.5 Alternativas

2.5.1 Selección del tipo de controlador

Como el equipo está dirigido para la automatización con respecto al control de temperatura de un freidor continuo en el proceso de cocción de patacones, se debe implementar un controlador autónomo el mismo presenta 3 alternativas, los cuales son un PLC nuevo, Controlador de temperatura y la reutilización de un PLC (Controlador Lógico Programado). Un PLC es un instrumento creado mediante un conjunto de diferentes dispositivos (sensores) los cuales mediante su configuración reciben

señales las cuales controlan posiciones con relación a la entrada, esto es posible por medio de indicaciones enviadas únicamente por el usuario que antes de la práctica mediante un lenguaje de programación establece parámetros, con la finalidad de enviar una señal de salida a un dispositivo, y el mismo cumpla con los requerimientos esperados, un PLC se lo implementa en caso cualquier proceso industrial, ya que tiene gran eficiencia en relación a otros dispositivos.

Un controlador de temperatura toma una entrada de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un dispositivo, el mismo puede ser un ventilador, con la finalidad de poder regular o controlar con una mayor precisión la temperatura de cualquier proceso en el que esté involucrado, esto disminuye considerablemente la participación del operador, salvaguardando su integridad.

2.5.1.1 Criterio de selección y ponderación del tipo de controlador

Costo [0.30]: Este factor es preponderante ya que, en la empresa que se implementaría el equipo deseaba reutilizar equipos y con ello la cotización final disminuiría considerablemente, permitiendo que la máquina se encontrara en un costo razonable y de igual manera cumpliría sin problema alguno los requerimientos de diseño establecidos.

Confiabilidad [0.20]: Este factor es de suma importancia ya que, al seleccionar el componente el mismo debe brindar al operador datos cercanos a los esperados, su precisión debe ser la más próxima a lo real y con ello se puede garantizar la confiabilidad del equipo.

Fácil instalación [0.25]: Este criterio va de la mano con los costos ya que el equipo presentar una fácil instalación, no se requerirá de personal capacitado para darle mantenimiento e instalar de nuevo el componente cuando se deba realizar su cambio respectivo.

Disponibilidad en el mercado [0.25]: Este criterio también va de la mano con los costos por motivo que el dispositivo sea fácil de

encontrar en el mercado local, ya que esto evitaría tener que tener en la bodega de repuestos un reemplazo y se ahorraría tiempo al pedir el repuesto.

Cada uno de los criterios son evaluados con un valor de 5.

2.5.1.2 Matriz de decisión para el tipo de controlador

Tabla 2. 1, Matriz de decisión para la selección del controlador

Criterios	Ponderación	Selección de la mejor alternativa					
		PLC ANTIGUO		PLC NUEVO		Controlador de temperatura	
		Puntaje	Ponderación final	Puntaje	Ponderación final	Puntaje	Ponderación final
Costo	0.30	4	1.2	3	0.9	3	0.9
Confiabilidad	0.20	4	0.8	4	0.8	3	0.6
Fácil instalación	0.25	4	1	3	0.75	3	0.75
Disponibilidad en el mercado	0.25	3	0.75	3	0.75	3	0.75
		Total A	3.75	Total B	3.2	Total C	3.0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.1 luego de haber ubicado cada uno de los criterios con su correspondiente ponderación, la alternativa más idónea es la A, cuya alternativa es la implementación de un PLC antiguo para ahorrar en costos.

2.5.2 Selección del actuador eléctrico lineal.

Este dispositivo es de suma importancia ya que permite controlar el paso del fluido mediante el porcentaje de apertura, este dispositivo es eléctrico e interactúa directamente con el controlador, ya que dependiendo de la señal que reciba se realizará la apertura del actuador.

En esta selección se presentan dos alternativas los cuales son el actuador motorizado y neumático.

El actuador motorizado es aquel que permite controlar el flujo de un fluido mediante la apertura del dispositivo, el equipo recibe una señal de 4 a 20 mA, y con dicha señal el actuador determina el paso requerido para el equipo, en la figura 2.1 se muestra el actuador motorizado en donde se observa las características.



Figura 2. 1, Actuador motorizado

Fuente: **(Neumática, 2014)**

El actuador neumático se lo implementa en el control de procesos industriales sistema dispositivo de control. Dicho dispositivo está conformado por diafragma neumático actuador, directamente a través de un solo asiento, asiento doble y manga, válvula etc, que puede cambiar automáticamente la válvula de ajuste con respecto a su posición dependiendo de la señal de control, permite cambiar el flujo área entre el ajuste de la válvula y el asiento de la válvula, para cambiar la válvula Coeficiente de arrastre. En la figura 2.2 se observa el actuador neumático en donde se visualiza como está constituido.



Figura 2. 2, Actuador neumático

Fuente: (Neumática, 2014)

2.5.2.1 Criterio de selección y ponderación para el tipo de actuador eléctrico lineal.

Costo [0.30]: Este factor es preponderante ya que, en la empresa que se implementaría el equipo deseaba reutilizar equipos y con ello la cotización final disminuiría considerablemente, permitiendo que la máquina se encontrara en un costo razonable y de igual manera cumpliría sin problema alguno los requerimientos de diseño establecidos.

Fácil instalación [0.25]: Este criterio va de la mano con los costos ya que el equipo presentar una fácil instalación, no se requerirá de personal capacitado para darle mantenimiento e instalar de nuevo el componente cuando se deba realizar su cambio respectivo.

Disponibilidad en el mercado [0.25]: Este criterio también va de la mano con los costos por motivo que el dispositivo sea fácil de encontrar en el mercado local, ya que esto evitaría tener que tener en la bodega de repuestos un reemplazo y se ahorraría tiempo al pedir el repuesto.

Mantenimiento [0.20]: Todo equipo tiene como criterio que su mantenimiento sea fácil de elaborar y programar, con respecto a evitar contratar a una persona para que le brinde un soporte técnico, esto produciría pérdidas económicas.

Todo criterio tiene una ponderación que llega a un valor máximo de 5 puntos.

2.5.2.2 Matriz de decisión para el tipo de actuador eléctrico lineal.

Tabla 2. 2, Matriz de decisión para el actuador.

Criterios	Ponderación	Selección de la mejor alternativa			
		Actuador motorizado		Actuador neumático	
		Puntaje	Ponderación final	Puntaje	Ponderación final
Costo	0.30	4	1.2	3	0.9
Mantenimiento	0.20	4	0.8	3	0.6
Disponibilidad en el mercado	0.25	4	1	4	1
Fácil instalación	0.25	5	1.25	3	0.75
		Total A	4.25	Total B	3.25

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.2 luego de haber ubicado cada uno de los criterios con su correspondiente ponderación, la alternativa más idónea es la A, cuya alternativa es un actuador motorizado.

2.5.3 Selección del tipo de sensor de temperatura

Para monitorear la temperatura del fluido se implementó en el equipo un sensor el cual nos permite llevar un mayor control de la temperatura, ya que esto es primordial para poder cumplir con las especificaciones y requerimientos establecidos en el equipo, ya que la temperatura óptima debe tener un rango entre 160 a 170 °C.

Para esta selección se tuvo en consideración tres alternativas, las cuales fueron un sensor PT 100, termocupla y RTD.

El sensor PT 100 permite medir la temperatura de un fluido, la cual a medida que incrementa la temperatura la resistencia eléctrica va aumentando proporcionalmente. Es implementado de gran manera en la industria por su fácil instalación en los equipos y disponibilidad en el mercado local, además que su costo es accesible. En la figura 2.3 se observa el componente con su respectiva composición. (HETPRO, 2017)



Figura 2. 3, Sensor PT 100

Fuente: (HETPRO, 2017)

Un sensor RTD es un dispositivo que tiene como objetivo la medición de temperatura mediante la variación de las resistencias que lo conforman y se encuentran ubicadas en el dispositivo y conducen la señal de la temperatura. (OMEGA, 2005)



Figura 2. 4, Sensor RTD

Fuente: (OMEGA, 2005)

Las termocuplas son los sensores más implementados en la industria, la cual está conformada por dos alambres los cuales son de materiales diferentes, las cuales al momento de aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy bajo del orden de los milivolteos. En la figura 2.5 se puede observar al dispositivo y como está conformado.



Figura 2. 5, Sensor termocupla.

Fuente: (FERREYROS, 2001)

2.5.3.1 Criterio de selección y ponderación para el tipo de sensor de temperatura

Fácil instalación [0.20]: Este criterio va de la mano con los costos ya que el equipo presentar una fácil instalación, no se requerirá de

personal capacitado para darle mantenimiento e instalar de nuevo el componente cuando se deba realizar su cambio respectivo.

Disponibilidad en el mercado [0.25]: Este criterio también va de la mano con los costos por motivo que el dispositivo sea fácil de encontrar en el mercado local, ya que esto evitaría tener que tener en la bodega de repuestos un reemplazo y se ahorraría tiempo al pedir el repuesto

Operatividad [0.25]: Esto se relaciona con la funcionalidad del equipo, es decir que el componente cumpla con los requerimientos de diseño, las especificaciones del usuario, que muestre los datos requeridos y sobre todo no afecte con el desempeño de los demás componentes que conformen el equipo.

Costo [0.30]: Este factor es preponderante ya que, en la empresa que se implementaría el equipo deseaba reutilizar equipos y con ello la cotización final disminuiría considerablemente, permitiendo que la máquina se encontrara en un costo razonable y de igual manera cumpliría sin problema alguno los requerimientos de diseño establecidos.

Todo criterio tiene una ponderación que llega a un valor máximo de 5 puntos.

2.5.3.2 Matriz de decisión para el tipo de sensor de temperatura

Tabla 2. 3, Matriz de decisión para la elección del sensor de temperatura.

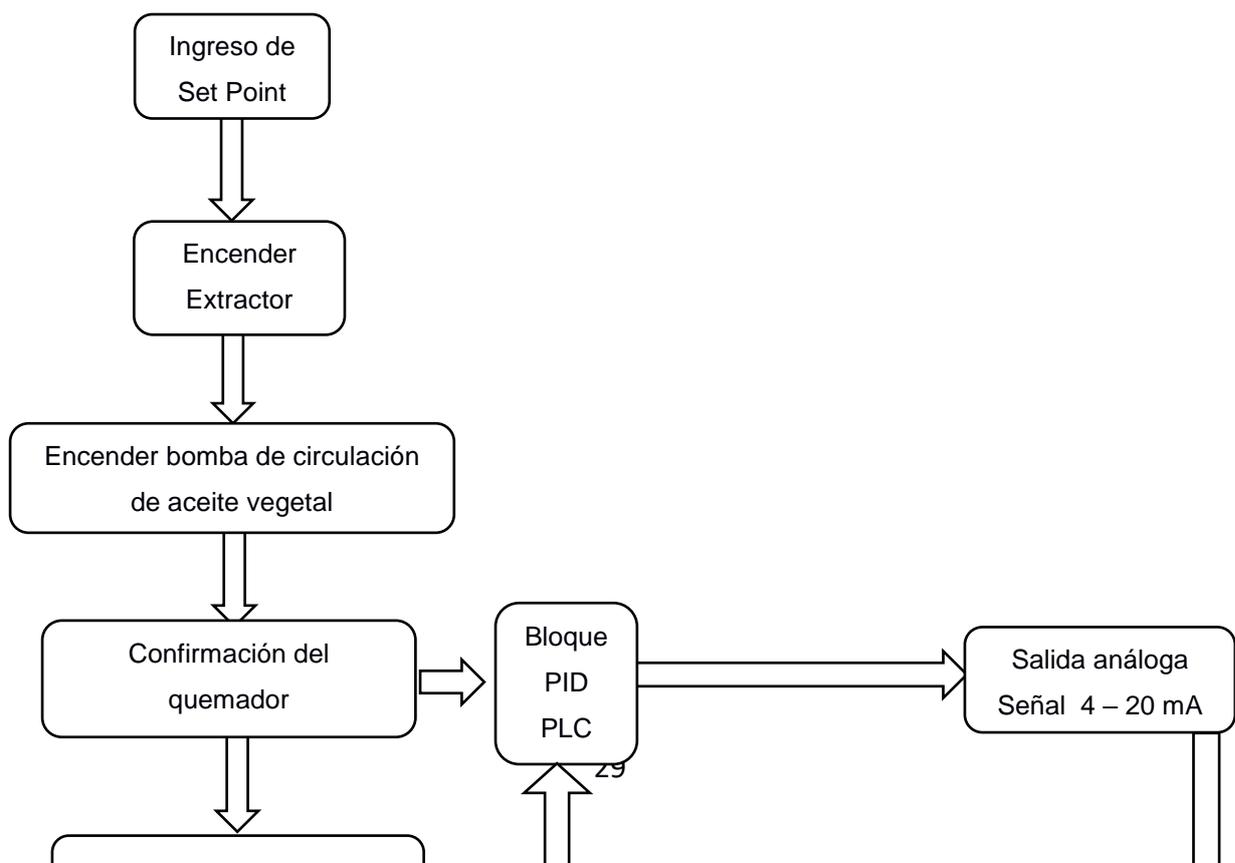
Criterios	Ponderación	Selección de la mejor alternativa					
		Sensor PT 100		Sensor termocupla		Sensor RTD	
		Puntaje	Ponderación final	Puntaje	Ponderación final	Puntaje	Ponderación final
Disponibilidad en el mercado	0.25	4	1	4	1	3	0.75
Costo	0.30	4	1.2	4	1.2	4	1
Operatividad	0.25	3	0.75	3	0.75	3	0.75
Fácil instalación	0.20	4	0.8	3	0.6	2	0.4
		Total A	3.75	Total B	3.55	Total C	2.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.3 luego de haber ubicado cada uno de los criterios con su correspondiente ponderación, la alternativa más idónea es la A, cuya alternativa es un sensor PT 100.

2.6 Diseño detallado.

En esta sección se detallará el proceso que se llevo a cabo para la implementación del control del sistema Nothum; así como también los cálculos para el dimensionamiento y selección de equipos. A continuación, se describe la secuencia del proceso que se llevo a cabo.



2.6.1 Verificación del estado de los equipos.

Al realizar la inspección para el reacondicionamiento y puesta en marcha del equipo Nothum, se efectuó un levantamiento del estado de los equipos y conexiones para verificar el estado de cada uno de ellos; y de ser necesario cambiar los componentes.

Tabla 2. 4, Inspección de los componentes mediante check list.

Componentes		Estado	
Cantidad	Nombre	Bueno	Averiado
1	Panel de control freidor		
5	Contactores 9 amp		○
5	Guardamotores		○
2	Variadores de velocidad powerflex 4m 1 hp 460 vac		○
1	PLC micrologix 1400 1766-I32bwa		○
16	RELES DE INTERFASE FINDER		○
48	Borneras tipo fusible 1 amp		○
20	Borneras de interconexión		○
2	Banda de producto		
1	Motoreductor de 1 hp frame 71		○
3	Banda de afrecho		
1	Motoreductor de 0.5 hp frame 71		○
1	Intercambiador de calor		
5	SENSORES DE TEMPERATURA PT100		○
1	Bomba centrífuga para recirculación de aceite acoplada a motor de 1.5 hp.		○
1	Extractor de aire caliente		
1	Blower 220 Vac.		○
1	Contactador		○
1	Guardamotor		○
1	Panel de control de caldera		
2	Breaker	○	

5	Guardamotor		○
1	Arrancador suave siemens 25 hp		○
1	CONTROLADOR DE LLAMA HONEYWELL		○
5	Contactador		○
7	Componentes de control y seguridad		
1	Válvula piloto ASCO		○
2	Válvula de seguridad ASCO		○
1	FILTRO DE 50 MICRAS 2 " GLP		○
1	REGULADOR DE FLUJO DE GLP 1 1/2		○
1	Electrodo de Ignición		○
1	Sensor de presión diferencial DANFFOS		○
2	Sensor de temperatura.		○
2	Balizas con alarma sonora		○
1	Actuador motorizado regulador de flujo		○
1	Sensor ultravioleta		○
8	Acometida eléctrica de señales de control desde panel de control hasta tablero.		○

Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Diseño Esquemático

2.6.3 Selección y dimensionamiento de equipos

2.6.3.1 Selección de PLC.

Para la correcta selección del PLC se debe tener en cuenta el número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, que necesitamos para realizar el control de nuestros equipos.

Entradas analógicas:

5 sensores de temperatura

Salidas analógicas:

Controlador de accionador neumático

Entrada digital:

Confirmaciones de encendido y señales de alarma.

Salida digital:

Encendido de motores.

De acuerdo con las entradas y salidas tanto analógicas como digitales, necesitamos 8 módulos 6 entradas y 2 salidas. Un plc micrologix 1400 cumpliría nuestros requerimientos satisfactoriamente ya que necesitamos tener pantallas de control en nuestro sistema, pero al tener entradas libres en el PLC de la planta, se optó por incorporar módulos para el PLC existente ya que aun tenía capacidad para realizar mas conexiones. A continuación, se muestra información del PLC existente en el tablero de control de la planta.



Figura 2. 6, Micrologix 1766 – L32WA implementado en equipo.

Specifications

General Specifications

Description	1766-L32AWA 1766-L32AWAA	1766-L32BWA 1766-L32BWAA	1766-L32BXB 1766-L32BXBA
Dimensions HxWxD	90 x 180 x 87 mm 3.5 x 7.087 x 3.43 in.		
Shipping weight	0.9 kg (2.0 lbs)		
Number of I/O	24 inputs (20 digital and 4 analog) and 14 outputs		12 digital and 2 analog
Power supply voltage	100...240V AC @ 47...63 Hz		24V DC Class 2 SELV
Heat dissipation	Refer to the MicroLogix 1400 Programmable Controllers User Manual, Publication 1766-UM011		
Power supply inrush current	120V AC: 25 A for 8 ms 240V AC: 40A for 4 ms		24V DC: 15 A for 20 ms
Power consumption	100 VA	120 VA	50W 7.5W (with no 1762 expansion I/O)
24V DC sensor power	none	24V DC @ 250 mA 400 µF max.	none
Input circuit type	Digital: 120V AC Analog: 0...10V DC	Digital: 24V DC sink/source (standard and high-speed) Analog: 0...10V DC	Digital: 24V DC sink/source (standard and high-speed) Analog: 0...10V DC
Output circuit type	Relay		Relay/FET
Relay life - Electrical	2 x 10 ⁴ operations min	(2.5 A, 250V AC / 30V DC)	
Enclosure type rating	None (open-style)		
Wire size	0.25... 2.5 mm ² (22...14 AWG) solid or stranded (194 °F) or greater.		copper wire rated @ 90 °C
Wiring category ⁽¹⁾	2 - on signal ports 2 - on power ports 3 - on communications ports		
Terminal screw torque	0.79 Nm (7.0 in-lb) rated		

Figura 2. 7, Especificaciones generales

Specifications for Inputs

Digital Inputs

Description	1766-L32AWA 1766-L32AWAA	1766-L32BWA, 1766-L32BWA1, 1766-L32BXBA	1766-L32BXB, 1766-L32BXBA
		Inputs 0 through 11 (12 high-speed DC inputs)	Inputs 12 and higher (8 standard DC inputs)
On-state voltage range	79...132 V AC	4.5...24V DC, Class 2 (4.5...26.4V DC @ 60°C/140°F) (4.5...30V DC @ 30°C/86°F)	10...24V DC, Class 2 (10...26.4V DC @ 60°C/140°F) (10...30V DC @ 30°C/86°F)
Off-state voltage range	0...20 V AC	0...1.5V DC	0...5V DC
Operating frequency	47...63 Hz	0 Hz...100 kHz	0 Hz...1 kHz (scan time dependent)
On-state current min nom max	5.0 mA @ 79 V AC 12 mA @ 120 V AC 16.0 mA @ 132 V AC	7.1 mA @ 4.5V DC 9.9 mA @ 24V DC 10.5 mA @ 30V DC	3.2 mA @ 10V DC 5.3 mA @ 24V DC 5.5 mA @ 30V DC
Off-state leakage current	2.5 mA max.	0.2 mA max.	1.5 mA max.
Nominal impedance	12 k Ω @ 50 Hz 10 k Ω @ 60 Hz	2.4 k Ω	4.5 k Ω
Inrush current (max.) @ 120V AC	250 mA		

Analog Inputs

Description	1766-L32AWAA, -L32BWAA, -L32BXBA
Voltage input range	0...10.0V DC - 1 LSB
Type of data	12-bit unsigned integer
Input coding (0...10.0V DC - 1 LSB)	0...4,095
Voltage input impedance	>199 k Ω
Input resolution	12 bit
Non-linearity	$\pm 1.0\%$ of full scale
Overall accuracy -20...60 °C (-4...140 °F)	$\pm 1.0\%$ of full scale
Voltage input overvoltage protection	10.5 V DC
Field wiring to logic isolation	Non-isolated with internal logic

De acuerdo con las especificaciones del equipo, podemos obtener el tamaño de los cables de control que deben ser 14 AWG, con señales de trabajo de 4 – 20 mA.

Los módulos de entradas y salidas que se buscan incorporar y son compatibles con el PLC se muestran en la tabla 2.4 y sus figuras se muestran en el apéndice B.

Tabla 2. 5, Módulos por incorporarse en PLC

Cantidad	Equipo
1	Módulo de entradas digitales 1762-iq16
1	Módulo de salidas digitales 1762-ob16
1	Módulo de salidas análogas 1762-of4
1	Módulo de entradas rtd 1762-ir4

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3.2 Selección de sensores de temperatura.

De acuerdo con la sección 2.5.3 la lectura de la temperatura del fluido estará dada por el sensor PT 100. Este sensor es implementado de gran manera en la industria por su fácil instalación, precisión y disponibilidad en el mercado local, además que su costo es accesible. Al momento de adquirir un PT – 100 se debe tener en cuenta que existen distintas calidades y precios; los de mejor calidad son aquellos que están fabricados de verdadero alambre de platino.

El criterio indispensable de selección de nuestro diseño fueron el sitio de instalación y el rango de medición de temperatura. El primero debido a que están dentro de máquinas térmicas como lo son el freidor y el intercambiador de calor; y el segundo para que pueda medir temperaturas con mayor precisión; para esto escogimos sensores PT-100 con conexiones de cabeza.

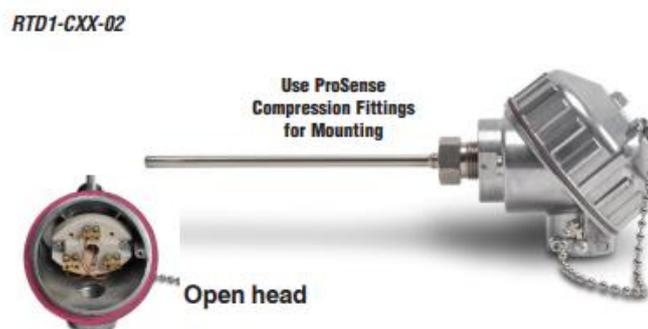


Figura 2. 8, Sensor RTD PT-100 con conexión de cabeza.

RTD Probes with Connection Head								
Part Number	Pcs/Pkg	Wt (lb)	Price	RTD Type	Probe Diameter (O.D.)	Probe Length	Temperature Sensing Range	Mounting
RTD1-C06-01			\$71.00	PT 100 3-wire	1/4"	6"	-50 to 300°C (-58 to 572°F)	Integral 1/2" x 1/2" NPT Hex Nipple, 316 SS
RTD1-C12-01		\$73.00	12"					
RTD1-C18-01		\$76.00	18"					
RTD1-C06-02	1	1.3	\$66.00			6"		ProSense compression fitting (see accessories - purchased separately)
RTD1-C12-02			\$68.00			12"		
RTD1-C18-02			\$71.00			18"		

Technical Specifications	
Sensing Element	Single 100 ohm platinum (Pt 100), 3-wire; TCR = 0.00385 ohm/ohm/°C
Initial Accuracy	Class A ±(0.15 +0.002 t) °C
Probe	ø1/4", 316 stainless steel sheath, single RTD is embedded in alumina powder
Minimum Installation Depth	3" (76 mm)
Connection Head	Die-cast aluminum, screw cover with stainless steel chain, compressed graphite gasket, NEMA 4X, IP66, 3/4" NPT conduit opening, max temp. 400°F (204°C)
Response Time	7 seconds, 63% of a 25 to 77°C step change (ASTM E1137)
Wiring	Ceramic terminal base with brass terminals and stainless steel screws (recommended tightening torque 3-4 lb-in)

Figura 2. 9, Especificaciones técnicas de sensor RTD PT-100.

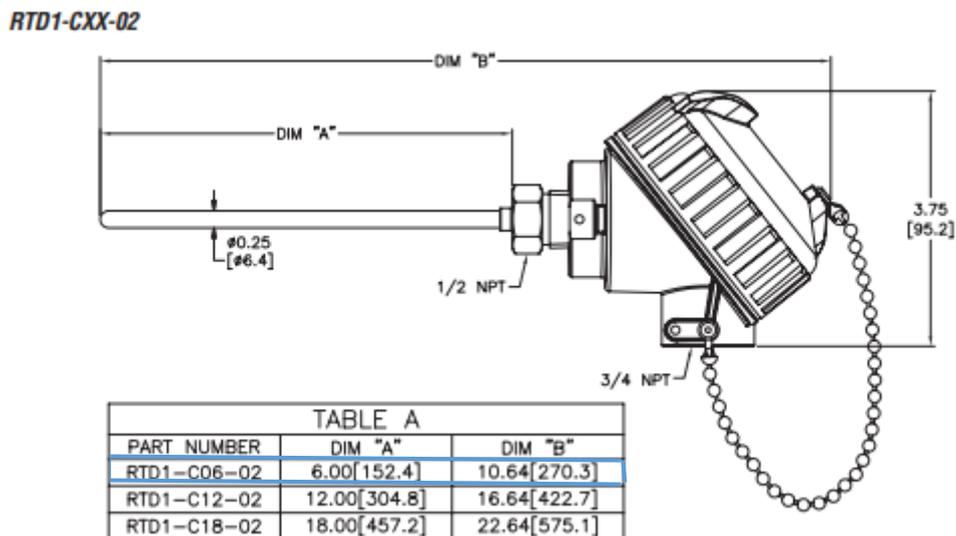


Figura 2. 10, Medidas de sensor RTD PT – 100.

Los modos de conexión del sensor interfieren en el error esperado, se pueden dar 3 métodos de conexión; con 2 hilos en este caso las resistencias se suman y generan un error inevitable, mientras que con 3 hilos es el método más común y resuelve bastante bien el problema

generado del error, con 4 hilos es el método más preciso de todos, pero el instrumento lector es mucho más costoso.

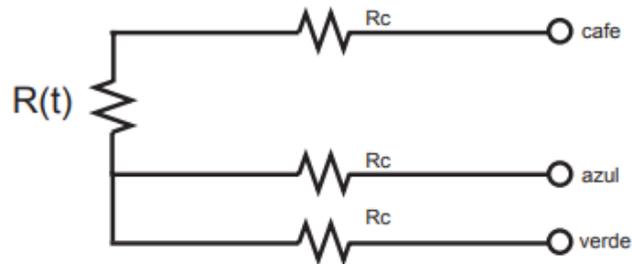


Figura 2. 11, Conexión de 3 hilos RTD PT – 100.

En la figura 2.10 se muestra la conexión que se usa para los 5 sensores de temperatura que se implementarán en el sistema.

Tabla 2.6, Ubicación de sensores en equipos.

Equipo	Ubicación
Sensor RTD C06 -02	En bandeja de freidor
Sensor RTD C06 -02	Entrada fluido frío intercambiador de calor.
Sensor RTD C06 -02	Entrada fluido caliente intercambiador de calor.
Sensor RTD C06 -02	Salida fluido frío intercambiador de calor.
Sensor RTD C06 -02	Salida fluido caliente intercambiador de calor.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3.3 Selección de actuador eléctrico lineal.

El actuador eléctrico lineal es un dispositivo electromecánico que regula el paso del flujo hacia el quemador recibiendo una señal de 4 a 20 mA y transformándola en una apertura proporcional de la válvula. Debido a la regulación de altos flujos de caudal de la bomba (661 GPM) y las altas temperaturas del fluido(280°C) el actuador eléctrico lineal SPIRAX SARCO EL serie 5600 cumple con estos requerimientos.

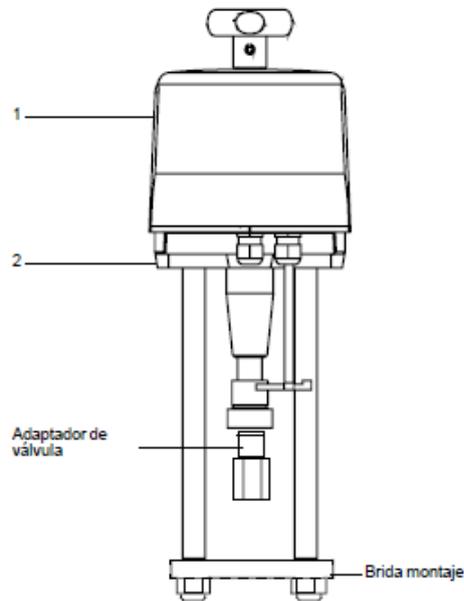


Figura 2. 12, Actuador eléctrico lineal seleccionado.

En la figura 2.11 se muestra la configuración de los parámetros que deben ser seleccionados para el correcto funcionamiento del actuador eléctrico lineal.

Datos técnicos

Modelo	EL560_	EL561_	EL562_	EL563_	EL564_	EL565_
Alimentación	230 Vac / 115 Vac / 24 Vac $\pm 10\%$					
Frecuencia Hz	50 / 60	50 / 60	50 / 60	50 / 60	50 / 60	50 / 60
Consumo VA*	9,2 / 10,4	10,9 / 12,6	25 / 27	53 / 53 (24 V es 36 VA)	78 / 78	142/142
Protección	IP65 (Para instalaciones exteriores proteger de la intemperie)					
Velocidad actuador mm/s	0,25	0,5	0,5	0,5	0,6	1,0
Fuerza máxima del actuador	1 kN	2 kN	4,5 kN	8 kN	12 kN	25 kN
Límites temperatura ambiente	-20 a + 60°C (-20 a +50°C con tarjeta posicionadora)					
Motor	Asíncrono - Con condensador					
Terminales	1,5 mm ²					
Accionamiento manual	Volante manual					
Interruptor de transferencia	5 A Inductivo 250 Vac 50 Hz					
Prensacables entrada	2 x PG13				3 x PG16	
Consumo posicionador	1,0 VA					

* El consumo de corriente corresponde a 50 / 60 Hz respectivamente.

Certificación

Este equipo lleva la marca CE y cumple con EN 50081-1 y EN 50082-2 (EMC), EN 61010-1/A2 (Seguridad), siguiendo las directivas 89/336/EEC corregida por 92/31/EEC y 93/68/EEC (EMC) y 72/73/EEC corregida por 93/68/EEC (LVD).

Selección Actuador

Tamaño de válvula		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	
Camera		20 mm					30 mm				
KE, LE estándar Kvs		0,4 1,6	1,0 4,0	6,3	10	16	25	36	63	100	160
QL Kvs		4	6	10	17	25	35	62	100	130	

Tipo de Válvula	Tipo de Actuador	Voltaje	Presión diferencial (Δ bar)									
			DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	
LE* 2-vías y KE 2-vías	EL5601	230	40,0 (24,6)	30,3 (13,7)	18,3 (7,7)	9,3 (3,7)	5,4 (1,9)	2,9 (0,9)	1,2 (0,0)	0,6 (0,0)	0,3 (0,0)	
	EL5602	115	40,0 (24,6)	30,3 (13,7)	18,3 (7,7)	9,3 (3,7)	5,4 (1,9)	2,9 (0,9)	1,2 (0,0)	0,6 (0,0)	0,3 (0,0)	
	EL5603	24	40,0 (24,6)	30,3 (13,7)	18,3 (7,7)	9,3 (3,7)	5,4 (1,9)	2,9 (0,9)	1,2 (0,0)	0,6 (0,0)	0,3 (0,0)	
	EL5611	230	40,0 (40,0)	40,0 (40,0)	38,3(27,7)	19,8(14,3)	12,0 (8,5)	6,7 (4,7)	3,5 (2,3)	2,2 (1,3)	1,3 (0,7)	
	EL5612	115	40,0 (40,0)	40,0 (40,0)	38,3(27,7)	19,8 (14,3)	12,0 (8,5)	6,7 (4,7)	3,5 (2,3)	2,2 (1,3)	1,3 (0,7)	
	EL5613	24	40,0 (40,0)	40,0 (40,0)	38,3(27,7)	19,8(14,3)	12,0 (8,5)	6,7 (4,7)	3,5 (2,3)	2,2 (1,3)	1,3 (0,7)	
	EL5621	230			40,0(40,0)	40,0(40,0)	28,5(25,0)	16,3(14,3)	9,3 (8,1)	6,1 (5,2)	3,8 (3,3)	
	EL5622	115			40,0(40,0)	40,0(40,0)	28,5(25,0)	16,3(14,3)	9,3 (8,1)	6,1 (5,2)	3,8 (3,3)	
	EL5623	24			40,0(40,0)	40,0(40,0)	28,5(25,0)	16,3(14,3)	9,3 (8,1)	6,1 (5,2)	3,8 (3,3)	
	EL5631	230					40,0(40,0)	29,7(27,2)	17,5(16,2)	11,5 (10,7)	7,4 (6,8)	
	EL5632	115					40,0(40,0)	29,7(27,2)	17,5(16,2)	11,5 (10,7)	7,4 (6,8)	
	EL5633	24					40,0(40,0)	29,7(27,2)	17,5(16,2)	11,5 (10,7)	7,4 (6,8)	
	EL5641	230						40,0(40,0)	26,7(25,5)	17,8 (16,9)	11,4 (10,9)	
	EL5642	115						40,0(40,0)	26,7(25,5)	17,8 (16,9)	11,4 (10,9)	
	EL5643	24						40,0(40,0)	26,7(25,5)	17,8 (16,9)	11,4 (10,9)	
	EL5651	230							40,0(40,0)	38,0 (37,2)	24,6 (24,1)	
EL5652	115							40,0(40,0)	38,0 (37,2)	24,6 (24,1)		
EL5653	24							40,0(40,0)	38,0 (37,2)	24,6 (24,1)		
QL 3-vías	EL5601	230	26,6 (12,0)	26,6 (12,0)	15,3 (6,4)	9,2 (3,7)	5,6 (2,0)	3,2 (1,0)	1,1 (0,0)	0,4 (0,0)	0,1 (0,0)	
	EL5602	115	26,6 (12,0)	26,6 (12,0)	15,3 (6,4)	9,2 (3,7)	5,6 (2,0)	3,2 (1,0)	1,1 (0,0)	0,4 (0,0)	0,1 (0,0)	
	EL5603	24	26,6 (12,0)	26,6 (12,0)	15,3 (6,4)	9,2 (3,7)	5,6 (2,0)	3,2 (1,0)	1,1 (0,0)	0,4 (0,0)	0,1 (0,0)	
	EL5611	230	40,0 (39,6)	40,0 (39,6)	32,1 (23,2)	19,5(14,0)	12,3 (8,8)	7,4 (5,2)	3,7 (2,3)	2,3 (1,3)	1,1 (0,6)	
	EL5612	115	40,0 (39,6)	40,0 (39,6)	32,1(23,2)	19,5 (14,0)	12,3 (8,8)	7,4 (5,2)	3,7 (2,3)	2,3 (1,3)	1,1 (0,6)	
	EL5613	24	40,0 (39,6)	40,0 (39,6)	32,1(23,2)	19,5(14,0)	12,3 (8,8)	7,4 (5,2)	3,7 (2,3)	2,3 (1,3)	1,1 (0,6)	
	EL5621	230	40,0 (40,0)	40,0 (40,0)	40,0(40,0)	40,0 (40,0)	29,2(25,7)	17,9(15,7)	10,3 (8,9)	7,0 (6,0)	3,7 (3,2)	
	EL5622	115	40,0 (40,0)	40,0 (40,0)	40,0(40,0)	40,0 (40,0)	29,2(25,7)	17,9 (15,7)	10,3 (8,9)	7,0 (6,0)	3,7 (3,2)	
	EL5623	24	40,0 (40,0)	40,0 (40,0)	40,0(40,0)	40,0(40,0)	29,2(25,7)	17,9 (15,7)	10,3 (8,9)	7,0 (6,0)	3,7 (3,2)	
	EL5631	230					40,0 (40,0)	32,6(30,3)	19,6(18,2)	13,5 (12,5)	7,4 (6,9)	
	EL5632	115					40,0 (40,0)	32,6(30,3)	19,6(18,2)	13,5 (12,5)	7,4 (6,9)	
	EL5633	24					40,0(40,0)	32,6(30,3)	19,6(18,2)	13,5 (12,5)	7,4 (6,9)	
	EL5641	230						40,0(40,0)	30,2(28,8)	20,9 (20,0)	11,6 (11,1)	
	EL5642	115						40,0(40,0)	30,2(28,8)	20,9 (20,0)	11,6 (11,1)	
	EL5643	24						40,0(40,0)	30,2(28,8)	20,9 (20,0)	11,6 (11,1)	
	EL5651	230							40,0(40,0)	40,0 (40,0)	25,3 (24,7)	
EL5652	115							40,0(40,0)	40,0 (40,0)	25,3 (24,7)		
EL5653	24							40,0(40,0)	40,0 (40,0)	25,3 (24,7)		

Figura 2. 13, Hoja de datos de actuador eléctrico lineal.

Tabla 2. 7, Parámetros de selección de actuador eléctrico lineal seleccionado.

Válvula	QL de 3 vías
Max diferencial presión	40 bar
Alimentación	115 Vac
Señal de control	4 -20 mA
Actuador selección	EI5622

Fuente: Elaboración propia

2.6.3.4 Control PID teórico.

Modelo matemático

Para la realización del modelo matemático relacionado con la planta piloto del intercambiador de calor, la primera premisa es la asunción de dos casos muy particulares, los cuales tienen como finalidad representar de la mejor manera la respuesta del sistema a analizar, a continuación, se describirá los dos casos particulares. El primer caso se dice que el proceso generado es ideal, esto significa que no se generan pérdidas de calor en el sistema mientras que el segundo caso se dice que el proceso no es ideal, es decir se presentan pérdidas de calor en el sistema y no se producen tiempos muertos en el intercambiador de calor.

Al dejar establecido los casos que nos ayudaran a realizar el modelo matemático, se procede a establecer las hipótesis que brindan un estudio más sencillo y claro del sistema, las hipótesis son elaboradas en base al comportamiento tanto físico y dinámico del sistema, estos son:

- El coeficiente global de transmisión (U) del intercambiador de calor es constante para todo el proceso.
- Los cambios de la energía cinética y potencial son despreciables.
- El proceso está a presión constante.
- El flujo másico del fluido caliente y frío se consideran constantes.
- La capacidad calorífica del fluido caliente y frío se consideran constantes.
- La masa y el volumen del fluido frío y caliente son constantes.
- Durante todo el proceso, el fluido caliente y frío no presentan cambio de fase.

Para poder realizar el modelo matemático se requiere de las propiedades tanto físicas y térmicas del proceso los cuales serán descritas en la tabla 2.7.

Se dice que en el sistema el aceite que enfría es el aceite vegetal mientras que el aceite caliente es el aceite térmico.

2.6.3.4.1 Determinación de variables PID para aceite vegetal.

Tabla 2. 7, Parámetros físicos y térmicos del proceso con aceite vegetal y térmico.

Parámetro	Símbolo	Unidad de medición
Capacidad calorífica del fluido frío	C_{pf}	1675 J/Kg*K
Capacidad calorífica del fluido caliente	C_{pc}	2131 J/Kg*K
Flujo volumétrico del fluido frío	\dot{V}_f	0.00253 m ³ /s
Flujo volumétrico del fluido caliente	\dot{V}_c	0.0417 m ³ /s
Flujo másico del fluido frío	$\dot{m}_f \doteq W_f$	24.97 Kg/s
Flujo másico del fluido caliente	$\dot{m}_c \doteq W_c$	35.53 Kg/s
Densidad del fluido frío	ρ_f	899 Kg/m ³
Densidad del fluido frío	ρ_c	852 Kg/m ³
Coefficiente global de transmisión	U	250 W/m ² *C
Área de transferencia de calor	A	8.04*10 ⁻⁴ m ²
Volumen del fluido frío	V_f	0.0833 m ³
Volumen del fluido caliente	V_c	0.2083 m ³

Fuente: Elaboración propia

Al establecer las asunciones se procedió con la elaboración del modelo matemático, el cual empieza con la implementación de la ley de balance de energía, conocido también como la primera ley de termodinámica, el cual puede ser visualizado en la ecuación 1, dicha ecuación es el punto de partida para el planteamiento de las

demás ecuaciones matemáticas que describirán el comportamiento de la planta del intercambiador de calor.

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Acumulación} \quad \text{Ecuación 1}$$

Al implementar la ecuación 1 mediante el análisis en estado dinámico, se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se subdividieron en dos casos:

Caso 1

Para el fluido frío:

Se observa en la ecuación el balance de energía del fluido frío.

$$\rho * V * C_{pf} * \frac{dT_{fs}(t)}{dt} + W_f * C_{pf} * T_{fs}(t) = W_f * C_{pf} * T_{fe}(t) \quad \text{Ecuación 2}$$

Para el fluido caliente:

Se observa en la ecuación 3 el balance de energía del fluido caliente.

$$\rho * V * C_{pc} * \frac{dT_{cs}(t)}{dt} + W_c * C_{pc} * T_{cs}(t) = W_c * C_{pc} * T_{ce}(t) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido.

V: Volumen del fluido.

C_{pc}: Capacidad calorífica del fluido frío.

T_{cs}(t): Temperatura del fluido caliente de salida en t.

W_c: Flujo másico del fluido caliente.

C_{pf}: Capacidad calorífica del fluido caliente.

T_{fs}(t): Temperatura del fluido frío de salida.

W_f: Flujo másico del fluido frío.

En este caso el análisis en estado estacionario la acumulación producida será igual a 0. Con esta premisa el sistema queda de la siguiente manera: En la ecuación 4 se observa el balance de energía del fluido frío en estado estacionario.

$$W_f * C_{pf} * T_{fs}(t) - W_f * C_{pf} * T_{fe}(t) = 0 \quad \text{Ecuación 4}$$

En la ecuación 5 se observa el balance de energía del fluido caliente en estado estacionario.

$$W_c * C_{pc} * T_{cs}(t) - W_c * C_{pc} * T_{ce}(t) = 0 \quad \text{Ecuación 5}$$

Caso 2

Fluido caliente

Al implementar el caso 2 se dice que el proceso no es un caso ideal, con eso establecido la ecuación 1 del balance de energía cambia de la siguiente manera, en donde se agrega el calor de transferencia (Qf):

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + Q_f = \text{Acumulación} \quad \text{Ecuación 6}$$

Con la implementación de la ecuación 6 se procede a obtener las ecuaciones de balance de energía del fluido.

Para el fluido frío

En la ecuación 7 se encuentra el balance de energía del fluido frío mediante la implementación de la ecuación 6.

$$\rho_f * V_f * C_{pf} * \frac{dT_{fs}(t)}{dt} + [W_f * C_{pf} + U * A] * T_{fs}(t) = W_f * C_{pf} * T_{fe}(t) + U * A * T_{cs}(t) \quad \text{Ecuación 7}$$

Para el fluido caliente

En la ecuación 8 se encuentra el balance de energía del fluido caliente mediante la implementación de la ecuación 6.

$$\rho_c * V_c * C_{pc} * \frac{dT_{cs}(t)}{dt} + [W_c * C_{pc} + U * A] * T_{cs}(t) = W_c * C_{pc} * T_{ce}(t) + U * A * T_{fs}(t) \quad \text{Ecuación 8}$$

De la misma manera que en el caso 1 se analiza cuando está en estado estacionario, en donde la acumulación es igual a 0.

En la ecuación 9 se encuentra el balance de energía del fluido frio en estado estacionario.

$$W_f * C_{pf} * T_{fe}(t) - [W_f * C_{pf} + U * A] * T_{fs}(t) + U * A * T_{cs}(t) = 0 \quad \text{Ecuación 9}$$

En la ecuación 10 se encuentra el balance de energía del fluido caliente en estado estacionario.

$$W_c * C_{pc} * T_{ce}(t) - [W_c * C_{pc} + U * A] * T_{cs}(t) + U * A * T_{fs}(t) = 0 \quad \text{Ecuación 10}$$

Al establecer todas las ecuaciones anteriores se procede con la construcción de la función de transferencia. Las ecuaciones establecidas anteriormente se las puede representar de mejor manera mediante variables de estado.

En la ecuación 11 se observa las variables de estado que representan las ecuaciones ya establecidas.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad \text{Ecuación 11}$$

$$y = Cx + Du$$

Al implementar la ecuación 11 en los dos casos establecidos se obtiene los siguientes valores:

Caso 1

Se implementa la forma general en la cual se representa el espacio de estados, se obtiene lo siguiente:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{W_f}{\rho_f * V_f} & 0 \\ 0 & -\frac{W_c}{\rho_c * V_c} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{W_f}{\rho_f * V_f} & 0 \\ 0 & \frac{W_c}{\rho_c * V_c} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Al observar las representaciones en el caso 1 se procede a obtener la función de transferencia mediante la implementación de la ecuación 12.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{C \text{adj}(sI-A)B}{|sI-A|} + D \quad \text{Ecuación 12}$$

Con la aplicación de la ecuación 12 se puede obtener la función de transferencia del sistema en el caso 1.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \begin{bmatrix} \frac{\frac{Wf}{\rho f * Vf}}{s + \frac{Wf}{\rho f * Vf}} & 0 \\ 0 & \frac{\frac{Wc}{\rho c * Vc}}{s + \frac{Wc}{\rho c * Vc}} \end{bmatrix}$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \begin{bmatrix} \frac{\frac{24.97}{899 * 0.0833}}{s + \frac{24.97}{899 * 0.0833}} & 0 \\ 0 & \frac{\frac{35.53}{852 * 0.2082}}{s + \frac{35.53}{852 * 0.2082}} \end{bmatrix}$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \left(\frac{0.333}{s + 0.333} \right) * \left(\frac{0.200}{s + 0.200} \right) = \frac{0.06676}{(s + 0.33)(s + 0.2)}$$

Caso 2

Se implementa la forma generan en la cual se representa el espacio de estados, se obtiene lo siguiente:

$$A = \begin{bmatrix} -\left(\frac{Wf * Cpf + Uf * Af}{\rho f * Vf * Cpf} \right) & 0 \\ 0 & -\left(\frac{Wc * Cpc + Uc * Ac}{\rho c * Vc * Cpc} \right) \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{Wf}{\rho f * Vf} & 0 \\ 0 & \frac{Wc}{\rho c * Vc} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Con la aplicación de la ecuación 12 se puede obtener la función de transferencia del sistema en el caso 2.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \begin{bmatrix} \left(\frac{1}{|sI - A|}\right) * \left(s + \frac{Wc * Cpc + Uc * Ac}{\rho c * Vc * Cpc}\right) * \left(\frac{Wf}{\rho f * Vf}\right) & \left(\frac{1}{|sI - A|}\right) * \left(\frac{Uc * Ac}{\rho c * Vc * Cpc}\right) * \left(\frac{Wc}{\rho c * Vc}\right) \\ \left(\frac{1}{|sI - A|}\right) * \left(\frac{Uf * Af}{\rho f * Vf * Cpf}\right) * \left(\frac{Wf}{\rho f * Vf}\right) & \left(\frac{1}{|sI - A|}\right) * \left(s + \frac{Wf * Cpf + Uf * Af}{\rho f * Vf * Cpf}\right) * \left(\frac{Wc}{\rho c * Vc}\right) \end{bmatrix}$$

Donde:

$$|sI - A| = s^2 + \left[\left(\frac{Wf * Cpf + Uf * Af}{\rho f * Vf * Cpf} \right) + \left(\frac{Wc * Cpc + Uc * Ac}{\rho c * Vc * Cpc} \right) \right] s + \left[\left(\frac{Wf * Cpf + Uf * Af}{\rho f * Vf * Cpf} \right) \left(\frac{Wc * Cpc + Uc * Ac}{\rho c * Vc * Cpc} \right) - \left(\frac{Uf * Af}{\rho f * Vf * Cpf} \right) + \left(\frac{Uc * Ac}{\rho c * Vc * Cpc} \right) \right]$$

Reemplazando los valores se obtiene de la siguiente manera

Donde:

$$|sI - A| = s^2 + \left[\left(\frac{24.97 * 1675 + 250 * 8.04 * 10^{-4}}{899 * 0.0833 * 1675} \right) + \left(\frac{35.53 * 2131 + 180 * 8.04 * 10^{-4}}{852 * 0.2082 * 2131} \right) \right] s + \left[\left(\frac{24.97 * 1675 + 250 * 8.04 * 10^{-4}}{899 * 0.0833 * 1675} \right) \left(\frac{35.53 * 2131 + 180 * 8.04 * 10^{-4}}{852 * 0.2082 * 2131} \right) - \left(\frac{250 * 8.04 * 10^{-4}}{899 * 0.0833 * 1675} \right) + \left(\frac{180 * 8.04 * 10^{-4}}{852 * 0.2052 * 2131} \right) \right]$$

$$|sI - A| = s^2 + 0.06767s + 0.0671$$

Se obtiene como resultado lo siguiente:

$$G(s) = \frac{s^2 + 0.1344s + 4.51 * 10^{-3}}{s^4 + 7.16 * 10^{-4}s^2 + 4.50 * 10^{-3}}$$

Con la función de transferencia del sistema establecida, se procede a obtener los controladores que cumplan con los requerimientos del equipo, mediante la obtención de la función de salida.

$$Y(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)}$$

Donde:

$$C(s) = Kp + \frac{Ki}{s} = \frac{Kps + Ki}{s}$$

Con el controlador establecido se procede a obtener los valores de k:

$$Y(s) = \frac{\left(\frac{Kps+Ki}{s}\right)\left(\frac{s^2+0.1344s+4.51*10^{-3}}{s^4+7.16*10^{-4}s^2+4.50*10^{-3}}\right)}{1+\left(\frac{Kps+Ki}{s}\right)\left(\frac{s^2+0.1344s+4.51*10^{-3}}{s^4+7.16*10^{-4}s^2+4.50*10^{-3}}\right)} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$Y(s) = \frac{\left(\frac{Kps^3 + (0.1344Kp+Ki)s^2 + (4.51 * 10^{-3}Kp + 0.1344Ki)s + 4.51 * 10^{-3}Ki}{s^5 + 7.16 * 10^{-4}s^3 + 4.50 * 10^{-3}s}\right)}{1 + \left(\frac{Kps^3 + (0.1344Kp+Ki)s^2 + (4.51 * 10^{-3}Kp + 0.1344Ki)s + 4.51 * 10^{-3}Ki}{s^5 + 7.16 * 10^{-4}s^3 + 4.50 * 10^{-3}s}\right)}$$

$Y(s)$

$$= \frac{Kps^3 + (0.1344Kp+Ki)s^2 + (4.51 * 10^{-3}Kp + 0.1344Ki)s + 4.51 * 10^{-3}Ki}{s^5 + (7.16 * 10^{-4}+Kp)s^3 + (0.1344Kp+Ki)s^2 + (4.51 * 10^{-3}Kp + 0.1344Ki + 4.50 * 10^{-3})s + 4.51 * 10^{-3}Ki}$$

Al obtener la ecuación de la función de salida, se procede a obtener el valor de zhitita mediante la ecuación 14, ya que se asume un valor de sobrenivel porcentual de 5%.

$$\%OP = 100 * e^{-\frac{\pi * \xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\xi = \frac{\sqrt{\ln^2\left(\frac{\%OP}{100}\right)}}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2\left(\frac{\%OP}{100}\right)}}$$

$$\xi = \frac{\sqrt{\ln^2\left(\frac{5}{100}\right)}}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2\left(\frac{5}{100}\right)}} = 0.707$$

Al resolver la ecuación se obtiene un valor de zeta de 0.707.

Se toma un tiempo de estabilización del sistema de 2 minutos, con este parámetro se puede obtener el valor de ω_n mediante la ecuación 15.

$$Ts = \frac{4}{\xi * \omega_n} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\omega_n = \frac{4}{0.707 * 120} = 0.047 \text{ rad/s}$$

Con este parámetro obtenido se procede a obtener el valor de K mediante la utilización de la ecuación 16 que representa la ecuación característica.

$$(s + a)(s + b)(s + c)(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2) = 0 \quad \text{Ecuación 16}$$

Los valores de a, b y c se obtienen de la siguiente manera:

$$a = 10 \xi \omega_n = 10 * 0.047 * 0.707 = 0.332$$

$$b = 11 \xi \omega_n = 11 * 0.047 * 0.707 = 0.366$$

$$c = 12 \xi \omega_n = 12 * 0.047 * 0.707 = 0.399$$

$$(s + 0.332)(s + 0.366)(s + 0.399)(s^2 + 0.066s + 0.002209) = 0$$

$$(s^2 + 0.698s + 0.366)(s + 0.399)(s^2 + 0.066s + 0.002209) = 0$$

$$(s^3 + 1.097s^2 + 0.645s + 0.146)(s^2 + 0.066s + 0.002209) = 0$$

$$s^5 + 1.163s^4 + 0.72s^3 + 0.1505s^2 + 0.00111s + 0.00032 = 0$$

Con la implementación de la ecuación 16 se procede a obtener los valores de K mediante la igualación de la ecuación 16 y la ecuación 13.

$$s^5 + (7.16 * 10^{-4} + Kp)s^3 + (0.1344Kp + Ki)s^2 + (4.51 * 10^{-3}Kp + 0.1344Ki + 4.50 * 10^{-3})s + 4.51$$

$$* 10^{-3}Ki = s^5 + 1.163s^4 + 0.72s^3 + 0.1505s^2 + 0.00111s + 0.00032$$

$$7.16 * 10^{-4} + Kp = 0.72$$

$$Kp = 0.72$$

$$0.1344Kp + Ki = 0.1505$$

$$Ki = 0.054$$

$$C(s) = Kp + \frac{Ki}{s} = \frac{0.72s + 0.054}{s}$$

2.6.3.4.2 Determinación de variables de control PID para agua

Ahora se realizará lo mismo, pero asumiendo como fluido de prueba el agua.

En la tabla 2.8, se puede observar las propiedades físicas y térmicas del agua.

Tabla 2. 8, Parámetros físicos y térmicos del proceso con agua.

Parámetro	Símbolo	Unidad de medición
Capacidad calorífica del fluido frío	C _{pf}	4180 J/Kg*K
Capacidad calorífica del fluido caliente	C _{pc}	4186 J/Kg*K
Flujo volumétrico del fluido frío	\dot{V}_f	0.0002012 m ³ /s
Flujo volumétrico del fluido caliente	\dot{V}_c	0.0001272 m ³ /s
Flujo másico del fluido frío	$\dot{m}_f \doteq W_f$	0.2012 Kg/s
Flujo másico del fluido caliente	$\dot{m}_c \doteq W_c$	0.12718 Kg/s
Densidad del fluido frío	ρ_f	1000 Kg/m ³
Densidad del fluido frío	ρ_c	1000 Kg/m ³
Coefficiente global de transmisión	U	431.03 W/m ² *C
Área de transferencia de calor	A	0.96 m ²
Volumen del fluido frío	V_f	0.008234 m ³
Volumen del fluido caliente	V_c	0.0093 m ³

Fuente: Elaboración propia

Con la aplicación de la ecuación 12 se puede obtener la función de transferencia del sistema en el caso 2.

Se obtiene como resultado lo siguiente:

$$G(s) = \frac{0.1654s^2 - 0.03321s + 0.002223}{281.5s^4 + 90.17s^3 + 11.54s^2 + 0.6528s + 0.01343}$$

Con la función de transferencia del sistema establecida, se procede a obtener los controladores que cumplan con los requerimientos del equipo, mediante la obtención de la función de salida.

$$Y(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)}$$

Donde:

$$C(s) = Kp + \frac{Ki}{s} = \frac{Kps + Ki}{s}$$

Con el controlador establecido se procede a obtener los valores de k:

$$Y(s) = \frac{\left(\frac{Kps+Ki}{s}\right) \left(\frac{0.1654s^2-0.03321s+0.002223}{281.5s^4+90.17s^3+11.54s^2+0.6528s+0.01343}\right)}{1 + \left(\frac{Kps+Ki}{s}\right) \left(\frac{0.1654s^2-0.03321s+0.002223}{281.5s^4+90.17s^3+11.54s^2+0.6528s+0.01343}\right)} \quad \text{Ecuación 13}$$

$Y(s)$

$$= \frac{0.16Kps^3 + (0.16Ki - 0.33Kp)s^2 + (0.002Kp - 0.033Ki)s + 0.002Ki}{s^5 + \frac{90.17}{281.5}s^4 + \frac{(11.54 + 0.16Kp)}{281.5}s^3 + \frac{(0.65 + 0.16Ki - 0.033Kp)}{281.5}s^2 + \frac{(0.013 - 0.033Ki + 0.002Kp)}{281.5}s + \frac{0.002Ki}{281.5}}$$

Al obtener la ecuación de la función de salida, se procede a obtener el valor de zhitita mediante la ecuación 14, ya que se asume un valor de sobrenivel porcentual de 5%.

$$\%OP = 100 * e^{-\frac{\pi * \xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\ln^2\left(\frac{\%OP}{100}\right)}{\pi^2 + \ln^2\left(\frac{\%OP}{100}\right)}}$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\ln^2\left(\frac{5}{100}\right)}{\pi^2 + \ln^2\left(\frac{5}{100}\right)}} = 0.707$$

Al resolver la ecuación se obtiene un valor de zhitita de 0.707.

Se toma un tiempo de estabilización del sistema de 2 minutos, con este parámetro se puede obtener el valor de ω_n mediante la ecuación 15.

$$Ts = \frac{4}{\xi \cdot \omega_n} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\omega_n = \frac{3}{0.707 * 120} = 0.0141 \text{ rad/s}$$

Con este parámetro obtenido se procede a obtener el valor de K mediante la utilización de la ecuación 16 que representa la ecuación característica.

$$(s + a)(s + b)(s + c)(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2) = 0 \quad \text{Ecuación 16}$$

Los valores de a, b y c se obtienen de la siguiente manera:

$$a = 10 \xi \omega_n = 10 * 0.0141 * 0.707 = 0.1$$

$$b = 11 \xi \omega_n = 11 * 0.0141 * 0.707 = 0.11$$

$$c = 12 \xi \omega_n = 12 * 0.0141 * 0.707 = 0.12$$

$$(s + 0.12)(s + 0.11)(s + 0.1)(s^2 + 0.02s + 0.0002) = 0$$

$$s^5 + 0.35s^4 + 0.04s^3 + 0.002s^2 + 0.00003s + 0.0000002 = 0$$

Con la implementación de la ecuación 16 se procede a obtener los valores de K mediante la igualación de la ecuación 16 y la ecuación 13.

$$s^5 + \frac{90.17}{281.5} s^4 + \frac{(11.54 + 0.16Kp)}{281.5} s^3 + \frac{(0.65 + 0.16Ki - 0.033Kp)}{281.5} s^2$$

$$+ \frac{(0.013 - 0.033Ki + 0.002Kp)}{281.5} s + \frac{0.002Ki}{281.5}$$

$$= s^5 + 0.35s^4 + 0.04s^3 + 0.002s^2 + 0.00003s + 0.0000002$$

$$\frac{(0.65 + 0.16Ki - 0.033Kp)}{281.5} = 0.002$$

$$Kp = 3.29$$

$$\frac{0.002Ki}{281.5} = 0.0000002$$

$$Ki = 0.037$$

$$C(s) = Kp + \frac{Ki}{s} = \frac{3.29s + 0.037}{s}$$

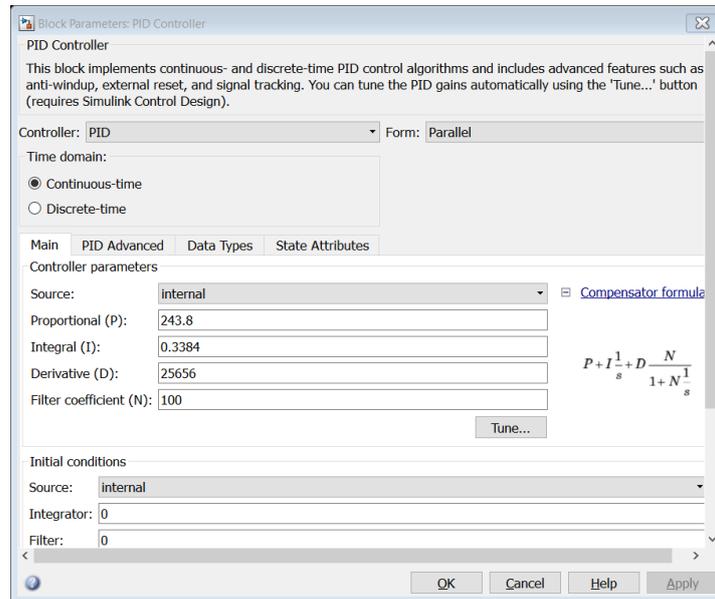
2.6.3.5 Control PID experimental.

Para la obtención de la función de transferencia del sistema de manera experimental, se realizaron una serie de pruebas en el equipo para conocer el funcionamiento de la planta; una vez obtenido estos datos se usó el programa Matlab para la obtención de los valores del controlador PID de la planta y los datos del controlador.

El diseño se realizó mediante el siguiente procedimiento y usando como requerimientos de diseño un sobrenivel porcentual de 5% y un tiempo de estabilización de 2 minutos.

- a) Identificación de datos de la planta del sistema.
- b) Determinación de constante de tiempo y filtro para datos.
- c) Obtención de puntos de operación de entrada y salida del sistema.
- d) Selección de rango de datos válidos para sistema
- e) Comando Ident para obtención de función de transferencia.
- f) Obtención de funciones de transferencia con process model.
- g) Estimar función de transferencia más cercana a la curva de datos del sistema.
- h) Grafica de función de transferencia.
- i) Uso de comando Sisotool
- j) Se añadió un integrador y dos ceros al controlador para diseñar los controladores en base a los requerimientos de diseño.
- k) Obtención de controladores.

El procedimiento detallado con imágenes se encuentra en apéndice E.



2.6.3.6 Diseño de pantalla de controlador lógico programable.

Para el diseño de la pantalla del controlador se debió establecer las etiquetas que estarán presentes en la pantalla, es necesario indicar el acceso de la variable; si es solo de lectura o lectura y escritura. A continuación, se presenta la lista de tags considerados para el proyecto.

Tabla 2. 9, Tags considerados para diseño de pantalla de controlador

Nombre	Tipo de datos	Descripción	Acceso
ON BOMBA RECIRCULACION NOTHUM	Boolean	ON BOMBA RECIRCULACION NOTHUM	Lectura/Escritura
OFF BOMBA RECIRCULACION NOTHUM	Boolean	OFF BOMBA RECIRCULACION NOTHUM	Lectura/Escritura
CONFIRMACION ON BOMBA DE RECIRCULACION NOTHUM	Boolean	CONFIRMACION ON BOMBA DE RECIRCULACION NOTHUM	Lectura/Escritura
ON BANDA PRODUCTO NOTHUM	Boolean	ON BANDA PRODUCTO NOTHUM	Lectura/Escritura
OFF BANDA AFRECHO NOTHUM	Boolean	OFF BANDA AFRECHO NOTHUM	Lectura/Escritura

CONFIRMACION ON BANDA PRODUCTO NOTHUM	Boolean	CONFIRMACION ON BANDA PRODUCTO NOTHUM	Lectura/Escritura
SUBIR CAMPANA NOTHUM	Boolean	SUBIR CAMPANA NOTHUM	Lectura/Escritura
BAJAR CAMPANA NOTHUM	Boolean	BAJAR CAMPANA NOTHUM	Lectura/Escritura
SUBIENDO CAMPANA NOTHUM	Boolean	SUBIENDO CAMPANA NOTHUM	Lectura/Escritura
BAJANDO CAMPANA NOTHUM	Boolean	BAJANDO CAMPANA NOTHUM	Lectura/Escritura
ON EXTRACTOR NOTHUM	Boolean	ON EXTRACTOR NOTHUM	Lectura/Escritura
OFF EXTRACTOR NOTHUM	Boolean	OFF EXTRACTOR NOTHUM	Lectura/Escritura
CONFIRMACION ON EXTRACTOR NOTHUM	Boolean	CONFIRMACION ON EXTRACTOR NOTHUM	Lectura/Escritura
HABILITAR QUEMADOR NOTHUM	Boolean	HABILITAR QUEMADOR NOTHUM	Lectura/Escritura
DESHABILITAR QUEMADOR NOTHUM	Boolean	DESHABILITAR QUEMADOR NOTHUM	Lectura/Escritura
CONFIRMACION HABILITADO QUEMADOR NOTHUM	Boolean	CONFIRMACION HABILITADO QUEMADOR NOTHUM	Lectura/Escritura
QUEMADOR ON OFF NOTHUM	Boolean	QUEMADOR ON OFF NOTHUM	Lectura/Escritura
ON BANDA AFRECHO NOTHUM	Boolean	ON BANDA AFRECHO NOTHUM	Lectura/Escritura
OFF BANBA PRODUCTO NOTHUM	Boolean	OFF BANBA PRODUCTO NOTHUM	Lectura/Escritura
CONFIRMACION ON BANDA AFRECHO NOTHUM	Boolean	CONFIRMACION ON BANDA AFRECHO NOTHUM	Lectura/Escritura
ON ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Boolean	ON ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Lectura/Escritura
OFF ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Boolean	OFF ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Lectura/Escritura
CONFIRMACION ON ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Boolean	CONFIRMACION ON ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Lectura/Escritura
TEMP ENTRADA ACEITE TERMICO NOTHUM	Real	TEMP ENTRADA ACEITE TERMICO NOTHUM	Lectura/Escritura
TEMP SALIDA ACEITE TERMICO NOTHUM	Real	TEMP SALIDA ACEITE TERMICO NOTHUM	Lectura/Escritura
TEMP ENTRADA ACEITE VEGETAL NOTHUM	Real	TEMP ENTRADA ACEITE VEGETAL NOTHUM	Lectura/Escritura
TEMP SALIDA ACEITE VEGETAL NOTHUM	Real	TEMP SALIDA ACEITE VEGETAL NOTHUM	Lectura/Escritura
TEMPERATURA FREIDOR NOTHUM	Real	TEMPERATURA FREIDOR NOTHUM	Lectura/Escritura
SETPOINT TEMP FREIDOR NOTHUM	Real	SETPOINT TEMP FREIDOR NOTHUM	Lectura/Escritura
APERTURA VALVULA DEL QUEMADOR NOTHUM	Real	APERTURA VALVULA DEL QUEMADOR NOTHUM	Lectura/Escritura

2.6.3.7 Programación de PLC

La programación del PLC se realizó RS LOGIX 500 debido a que era el lenguaje de programación con el que trabaja el sistema; se utilizó la programación en escalera. El diagrama de programación se encuentra en el apéndice F.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Análisis de Resultados

En esta sección del documento presente, se analizan los resultados obtenidos en el capítulo 2 con la finalidad de verificar las variables obtenidas para el control PID.

En esta sección se mostrará la respuesta obtenida de la función y se comparará la función modelada analíticamente con la obtenida de los datos de la planta.

En esta sección se mostrará los diagramas eléctricos en CAD, de las conexiones que se realizaron en el panel de control de freidor Nothum; así como también imágenes de la pantalla de configuración implementada y el equipo funcionando correctamente. Así como también se realiza la tabla de costos del proyecto con los respectivos lugares donde se adquirieron los materiales y equipos.

3.1.1 Comparación de funciones de transferencias obtenidas

En la siguiente tabla se muestran las tres funciones de transferencias obtenidas dos para el agua y una para el aceite. Para el aceite vegetal no se pudo obtener la función de transferencia experimental debido a que no se pudo realizar las pruebas con aceite por faltas de bandas para el proceso; en vez de eso se realizaron pruebas experimentales con agua para comprobar el control. Los controladores PI obtenidos de manera analítica ayudan a controlar el sobrenivel porcentual y el integrador mide el tiempo que toma llevar a cabo la acción correctiva; mientras que el PID controla los dos mencionados anteriormente a más de tratar de prever el error e iniciar una acción oportuna. Los controladores PID son una excelente herramienta para lograr el ahorro de energía ofreciendo controles más sofisticados y seguros.

Tabla 3. 1, Funciones de transferencia obtenidos con la prueba de aceite y agua.

Función	Ecuación	PI – PID
Función de transferencia analítica obtenida para aceite vegetal.	$G(s) = \frac{0.1654s^2 - 0.03321s + 0.002223}{281.5s^4 + 90.17s^3 + 11.54s^2 + 0.6528s + 0.01343}$	$C(s) = Kp + \frac{Ki}{s} = \frac{0.72s + 0.054}{s}$
Función de transferencia analítica obtenida para agua.	$G(s) = \frac{0.1654s^2 - 0.03321s + 0.002223}{281.5s^4 + 90.17s^3 + 11.54s^2 + 0.6528s + 0.01343}$	$C(s) = Kp + \frac{Ki}{s} = \frac{3.29s + 0.037}{s}$
Función de transferencia experimental obtenida para agua.	$G = \frac{0.735}{155600 s^2 + 201.8 s + 1}$	$C2 = \frac{25656 s^2 + 243.8 s + 0.3384}{s}$

Fuente: Elaboración propia.

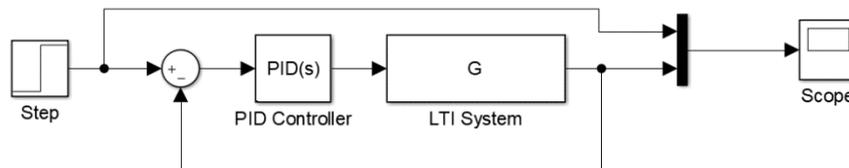


Figura 3. 1, Diseño esquemático de las funciones de transferencia en Matlab.

Fuente: Elaboración propia.

La función de transferencia obtenida de manera experimental se ajustó en un 90% a la respuesta del sistema obtenida mediante Matlab; la función constaba de 3 polos con parte imaginaria. En la figura 3.3 se observa cómo se comporta la curva de la función de transferencia, esto permite obtener valores las cercanos a los esperados.

Transfer Function		Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
$\frac{K}{(1 + (2 \text{ Zeta } Tw) s + (Tw s)^2)(1 + Tp3 s)}$		K	<input type="checkbox"/>	0.77024	Auto	[-Inf Inf]
		Tw	<input type="checkbox"/>	386.8362	Auto	[0 375312.70]
		Zeta	<input type="checkbox"/>	0.31142	Auto	[0 Inf]
		Tp3	<input type="checkbox"/>	0.0010572	Auto	[0 10000]
		Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
		Td	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
		Poles 3 Underdamped <input type="checkbox"/> Zero <input type="checkbox"/> Delay <input type="checkbox"/> Integrator		Initial Guess <input checked="" type="radio"/> Auto-selected <input type="radio"/> From existing model: <input type="text"/> <input type="radio"/> User-defined <input type="button" value="Value-->Initial Guess"/>		
Disturbance Model: None Focus: Simulation		Initial condition: Auto Covariance: Estimate		<input type="button" value="Regularization..."/> <input type="button" value="Options..."/>		
<input type="checkbox"/> Display progress		<input type="button" value="Continue"/>				
Name: P3U		<input type="button" value="Estimate"/> <input type="button" value="Close"/> <input type="button" value="Help"/>				

Figura 3. 2, Ventana de menú para obtención de la función de transferencia.

Fuente: Elaboración propia.

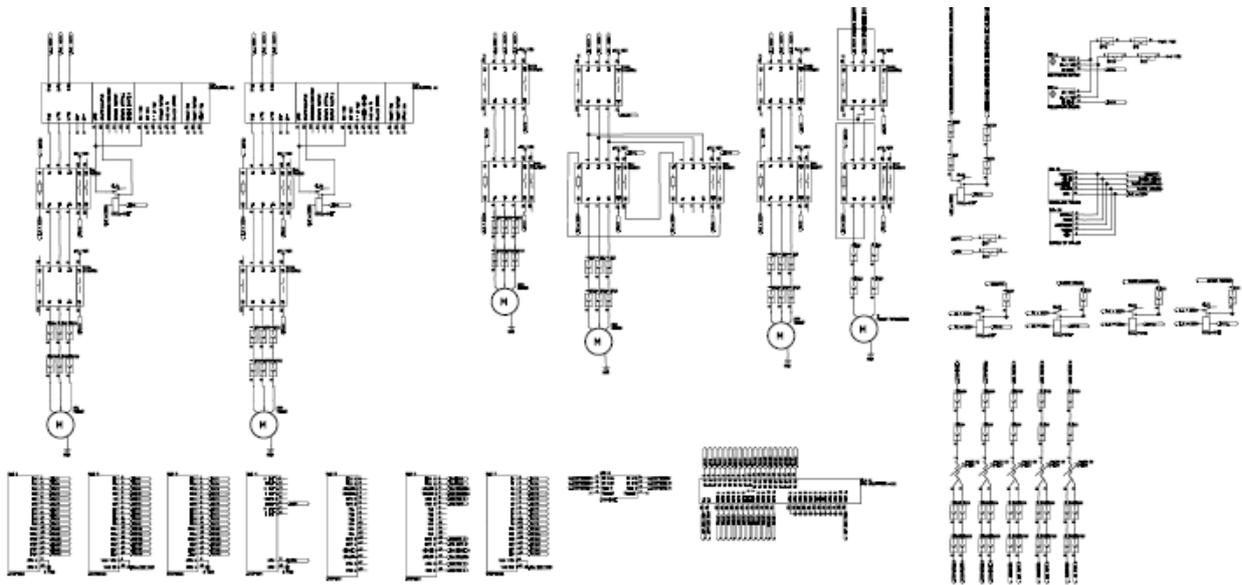


Figura 3. 5, Diagrama esquemático de circuitos de control de freidor Nothum.

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Pantalla final de PLC

A continuación, se muestra la configuración final del PLC que el operador usará para el funcionamiento y control del equipo en la secuencia indicada.

Cabe recalcar que, son pasos que seguir para que el control de equipo tenga una secuencia lógica.

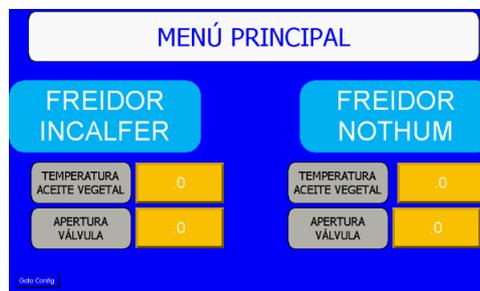


Figura 3. 6, Pantalla principal del sistema



Figura 3. 7, Segunda pantalla del sistema

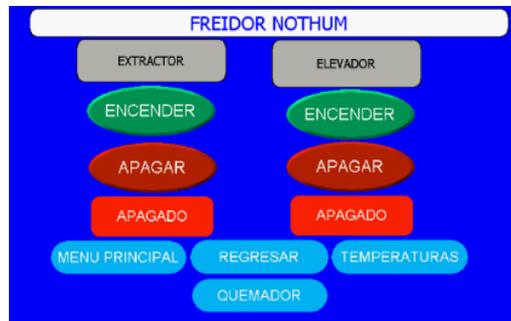


Figura 3. 8, Tercera pantalla del sistema

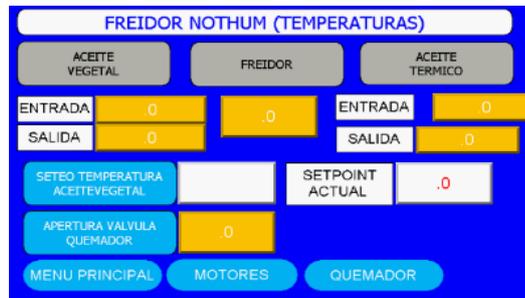


Figura 3. 9, Cuarta pantalla del sistema



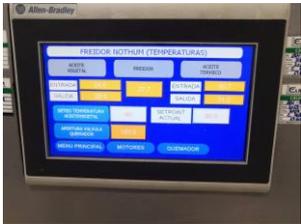
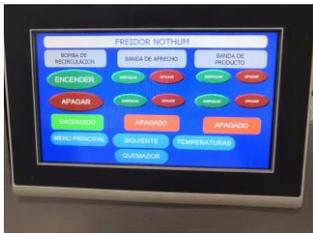
Figura 3. 10, Quinta pantalla del sistema

3.1.4 Equipo funcional.

A continuación, se muestran imágenes del equipo controlador de temperatura para proceso de fritura de patacón.

Tabla 3. 2, Equipo controlador de temperatura para proceso de fritura de patacón.

Componentes Nothum	Observación
	Lote de válvulas de entrada del calentador, incluye válvula de seguridad y de control de presión.
	Filtro y regulador de gas para quemador.
	Quemador con sensor de presión diferencial.
	Tablero de control de quemador

	<p>Actuador eléctrico líneal Spirax sarco 4 – 20 mA funcional.</p>
	<p>Pantalla principal de control de PLC.</p>
	<p>Pantalla principal de control de PLC.</p>
	<p>Sensor PT100 en aceite de freidor.</p>
	<p>Sensor PT100 en intercambiador de calor, fluido aceite vegetal.</p>

3.1.5 Análisis de costos de implementación de proyecto.

En esta parte del documento en la tabla 3.3 se muestra la cotización elaborada en diferentes lugares de la ciudad con el objetivo de encontrar todos los componentes e manera local.

Tabla 3. 3, Componentes del equipo con su respectiva cotización.

Ítem	Marca	Lugar	Descripción	Cantidad	Precio	
					Unitario	Total
1	Tablicon	KITTON S.A	TABLERO DE ACERO INOXIDABLE 80X60X25	1	\$128	\$128
2	Schneider Electric	KITTON S.A	BORNERAS	100	\$1,45	\$145
3		KITTON S.A	GUARDAMOTORES	11	\$58	\$638
4	Schneider Electric	KITTON S.A	BREAKER	8	\$32	\$256
5	Allen Bradley	ELECTROLEG S.A	Variadores de velocidad Power Flex 4m 1 hp	2	\$450	\$900
6	Schneider Electric	ELECTROLEG S.A	Extractor de aire 1 hp 220 vac monofásico	1	\$1200	\$1200
8	Rockwell Automation	ELECTROLEG S.A	Módulo de entradas digitales 1762-iq16	1	\$175	\$175
9	Rockwell Automation	ELECTROLEG S.A	Módulo de salidas digitales 1762-ob16	1	\$188	\$188
10	Rockwell Automation	ELECTROLEG S.A	Módulo de entradas rtd 1762-ir4	1	\$260	\$260
11	Rockwell Automation	ELECTROLEG S.A	Módulo de salidas análogas 1762-of4	1	\$285	\$285
12	Schneider Electric	EECOL S.A	Contactores para arranque de motores	11	\$42	\$462
13	Omron	EECOL S.A	Sensores pt100	5	\$85	\$425
14	Finder	EECOL S.A	Relés de interfase 24 vdc 220vac	10	\$15	\$150
15	Allen Bradley	EECOL S.A	Juegos de balizas color rojo naranja verde con alarma sonora para control visual de temperatura de aceite	2	\$575	\$1150

16	Monoblock	SERCORPVI S.A	Bomba centrífuga para recirculación de aceite acoplada a motor de 1.5 hp.	1	\$2475	\$2475
17		KITTON S.A	Válvula piloto	1	\$275	\$275
18		EECOL S.A	Válvula de seguridad ASCO	2	\$750	\$750
19		EECOL S.A	Electrodo de Ignición	1	\$225	\$225
20	Shneider Electronic	ELECTROLEG S.A	Sensor de presión diferencial	1	\$700	\$700
21	Shneider Electronic	ELECTROLEG S.A	Sensor de temperatura	5	\$125	\$625
22	Shneider Electronic	ELECTROLEG S.A	Actuador motorizado regulador de flujo	1	\$1100	\$1100
23	Shneider Electronic	ELECTROLEG S.A	Sensor ultravioleta	1	\$350	\$350
			TOTAL:			\$12862

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3.4 la cotización elaborada con respecto al mantenimiento del equipo, el mismo que deberá bajo la responsabilidad del operador.

Tabla 3. 4, Cotización de servicio de mantenimiento de equipos.

Ítem	Producto	Lugar	Descripción	Cantidad	Precio	
					Unitario	Total
1	Actuador motorizado regulador de flujo	AUTOMATIS.S.A	Reparación de tarjetas eléctricas Rebobinado de motor Fabricación de acople para válvula Ajuste y Calibración	1	\$1100	\$1100
2	Mantenimiento de Blower 220 Vac	AUTOMATIS.S.A	Cambio de rodamientos Balanceo y ajuste	1	\$250	\$250
3	Motor elevador de campana 1 hp 460 VAC mantenimiento	AUTOMATIS.S.A	Mantenimiento completo del motor incluye cambio de rodamientos ,rebobinado ,carbones nuevos.	1	\$1483	\$1483

			TOTAL:			\$2833
--	--	--	---------------	--	--	---------------

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3.5 se muestra la suma global con relación al proyecto integrador.

Tabla 3. 5, Costo total del proyecto.

Ítem	Servicio	Descripción	Total
1	Suministro Componentes del equipo	Se proporciona los componentes necesarios para la implementación y correcto funcionamiento del sistema.	\$12862
2	Mantenimiento de los componentes del equipo	Se proporciona mantenimiento a los equipos en un estado medio para evitar interrupciones en la línea y prolongar la vida útil de los mismos.	\$2833
3	Desmontaje y conexión de los componentes del equipo	Se desmontará los componentes dispuestos al cambio y mantenimiento, e implementará las conexiones del sistema	\$8000
4	Técnico de quemador	Pruebas de presión y arranque de quemador	\$3000
5	Montaje de conexiones de eléctricas	Alimentación eléctrica de motores y dispositivos del sistema	\$5000
6	Ingeniería y Automatización	Diseño, implementación, programación y pruebas del sistemas	\$3000
		TOTAL:	\$34695

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La realización del modelo analítico con el fluido designado tuvo un comportamiento similar en el sistema real con los parámetros del control establecido en el modelamiento del sistema variando por factores externos del sistema.
- El rendimiento del sistema de control que provee el PLC es afectado por el sistema de calentamiento en la planta ya que este tiene una deficiencia en la rapidez para calentar el fluido en recirculación provocando una respuesta lenta.
- Al comparar los resultados obtenidos en el modelo matemático con los datos obtenidos de manera experimental, se puede observar que ambos presentan una relación tanto en su estructura como en sus valores, ya que estos presentan una proximidad cuantitativa con relación a los valores de K obtenidos.
- Se pudo realizar de manera exitosa mediante la programación elaborada en el PLC, la apertura adecuada del actuador motorizado dependiendo de la temperatura que presente el aceite térmico se producirá una señal que va de 4 a 20 mA y esto determina cuanto debe abrirse el actuador.
- Se logro que la estabilización del sistema se reduzca de 50 a 2.45 min con el controlador PID que se diseñó; a más de eso el sobrenivel porcentual se redujo del 20 al 5% en el sistema.

- La función de transferencia obtenida mediante la identificación y modelamiento de Matlab se asemeja en un 90.73% a la curva real del sistema, con 3 polos imaginarios.

4.2 Recomendaciones

- Se debería colocar un panel de control independiente para el freidor para realizar un mantenimiento de freidores de manera separada, por el motivo de que un mantenimiento del sistema provocaría el detenimiento de dos líneas de producción de la planta, al igual un daño que surja de manera imprevista
- La bomba de aceite térmico se recomienda reemplazarla en un próximo mantenimiento debido a que se utilizó una que se encontraba disponible en otro freidor con menor cantidad de flujo que la que pertenece a la que se encontraba presente.
- El intercambiador de calor contiene varios sectores como las tuberías sin aislamiento lo que provoca pérdidas de calor afectando la respuesta del sistema.
- Se recomienda para que el equipo se encuentre en óptimas condiciones de trabajo realizar una revisión semestral de los tableros y borneras, además del mantenimiento anual de los motores de las bandas de procesos.
- Se recomienda realizar mantenimiento a los componentes principales del equipo tales como, la bomba de aceite de recirculación del extractor, además del mantenimiento anual a bomba de aceite térmico, motor bomba de aceite térmico.

- Para una mayor eficiencia del equipo se recomienda calibrar de manera anual los sensores de temperatura, el actuador motorizado y la válvula de tres vías del quemador.
- Para poder tener una mayor eficiencia del sistema se debe realizar de manera anual la inspección y mantenimiento del quemador, también se procede al reemplazo de filtro entrada de GPA sistema del quemador, por último, realizar el mantenimiento del caldero de quemador y variadores de velocidad.
- Para la elaboración del tema se debe recordar que toda la tubería de aceite térmico solo el 50% no está aislado, el cual genera pérdidas de calor bastante altas, esto afecta el desempeño del equipo.
- Se debe recordar que la bomba de aceite térmico colocada en el quemador no es la recomendada debido a que se instaló una que estaba disponible, por motivos que no se encuentra disponible en el mercado nacional.
- Se recomienda que en el momento de las pruebas se determinó que los GPM de la bomba de aceite tiene un flujo mayor que el recomendado, esto produce cambios en la obtención del modelo matemático y del sistema.

REFERENCIAS

[1] <http://www.clerinsingenieros.com/noticia/cursos-de-operador-a-industrial-de-calderas-en-galicia>

[2] DISEÑO DE PLAN DE EXPORTACIÓN DE SNACK (CHIFLES DE PLÁTANO) HACIA LA CIUDAD DE HAMBURGO-ALEMANIA Nombre: Mónica Lorena Andrade Menéndez GUAYAQUIL, ECUADOR 2016

[3] UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA QUIMICA, "TEXTO

UNIVERSITARIO: TRANSFERENCIA DE CALOR”; Ing. Alberto Emilio Panana
Girio Investigador responsable 2007.

[4] Transferencia de calor conducción convección radiación Ing. Rubén Marcano
2013

[5]. <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5074/que-es-la-conveccion>

[6]. Mecanismos de la transferencia de calor 2013

[7]. <https://sites.google.com/site/fisicacbtis162/services/1-2-2-intercambio-de-calor?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

[8] Instituto de Física – Facultad de Ingeniería – Universidad de la República
MÓDULO: TRANSFERENCIA de CALOR. (Año 2002- Sandra Kahan).

[9]. <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/ahorro-energetico-con-aislamiento-termico-para-tuberias/>

Calderos

[10] UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA CALDERAS INGENIERIA QUÍMICA

[11] <http://www.clerinsingenieros.com/noticia/cursos-de-operador-a-industrial-de-calderas-en-galicia>

[12] Bombas industriales y equipos de bombeo, dosificación y mezcla de todo tipo de fluidos. Analizadores de laboratorio y proceso.

Freidores

Automatización

[13] <http://www.zeitesp.es/sectores/alimentos/>

[14] https://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/digital_/Apunte_PLC.pdf

[15] https://www.dirind.com/dae/monografia.php?cla_id=25

[16] http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0607_EA.pdf

[17] <http://www.institutodeautomatizacion.com/wordpress/usuario-especializado-en-variador-de-frecuencia-sinamics-g120/>

[18] <https://dominionindustrial.wordpress.com/2014/03/24/aplicaciones-industriales-control-de-temperatura/>

APÉNDICES

Apéndice A

Selección de Variadores de velocidad

Para la selección del variador de velocidad se debe tener en cuenta el dispositivo que se va a controlar y la finalidad con la que se lo utilizara, Hemos seleccionado un variador Powerflex 4M de la marca allen bradley que concuerda con el PLC lo cual facilita la comunicación entre ambas estaciones se debe tener en cuenta que este variador es de estado sólido y tiene características operacionales diferentes a las de equipo electromecánico.

PowerFlex 4M

Tabla 4,1 Código del Drive para su selección

1-3	4	5	6-8	9	10	11	12	13-14
22F	-	D	8P7	N	1	1	3	AA
Drive	Dash	Voltage Rating	Rating	Enclosure	HIM	Emission Class	Type	Optional

<p>Code 22F PowerFlex 4M</p>	<p>Code Voltage Ph.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>V</td><td>120V AC</td><td>1</td></tr> <tr><td>A</td><td>240V AC</td><td>1</td></tr> <tr><td>B</td><td>240V AC</td><td>3</td></tr> <tr><td>D</td><td>480V AC</td><td>3</td></tr> </table>	V	120V AC	1	A	240V AC	1	B	240V AC	3	D	480V AC	3	<p>Code Version</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>3</td><td>No Brake IGBT</td></tr> <tr><td>4</td><td>Standard</td></tr> </table> <p>Code Rating</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>0</td><td>Not Filtered</td></tr> <tr><td>1</td><td>Filtered</td></tr> </table> <p>Code Interface Module</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>Fixed Keypad</td></tr> </table> <p>Code Purpose</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>AA</td><td>Reserved for thru custom firmware</td></tr> <tr><td>ZZ</td><td></td></tr> </table>	3	No Brake IGBT	4	Standard	0	Not Filtered	1	Filtered	1	Fixed Keypad	AA	Reserved for thru custom firmware	ZZ	
V	120V AC	1																										
A	240V AC	1																										
B	240V AC	3																										
D	480V AC	3																										
3	No Brake IGBT																											
4	Standard																											
0	Not Filtered																											
1	Filtered																											
1	Fixed Keypad																											
AA	Reserved for thru custom firmware																											
ZZ																												
<p>Code Enclosure</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>N</td><td>Panel Mount - IP 20 (NEMA Type Open)</td></tr> </table>			N	Panel Mount - IP 20 (NEMA Type Open)																								
N	Panel Mount - IP 20 (NEMA Type Open)																											

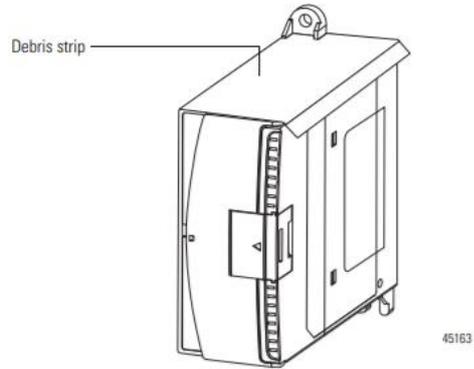
Output Current @ 100-120V Input			Output Current @ 200-240V Input			Output Current @ 380-480V Input		
Code	Amps	kW (HP)	Code	Amps	kW (HP)	Code	Amps	kW (HP)
1P6	1.6	0.2 (0.25)	1P6	1.6	0.2 (0.25)	1P5	1.5	0.4 (0.5)
2P5	2.5	0.4 (0.5)	2P5	2.5	0.4 (0.5)	2P5	2.5	0.75 (1.0)
4P5	4.5	0.75 (1.0)	4P2	4.2	0.75 (1.0)	4P2	4.2	1.5 (2.0)
6P0	6.0	1.1 (1.5)	8P0	8.0	1.5 (2.0)	6P0	6.0	2.2 (3.0)
			011	11.0	2.2 (3.0)	8P7	8.7	3.7 (5.0)
			012	12.0	2.2 (3.0)	013	13.0	5.5 (7.5)
			017	17.5	3.7 (5.0)	018	18.0	7.5 (10.0)
			025	25.0	5.5 (7.5)	024	24.0	10.0 (15.0)
			033	33.0	7.5 (10.0)			

Se estimaron Variadores de velocidad para motores AC de un 1HP de la marca ALLEN BRADLEY 22F-D4P5N113

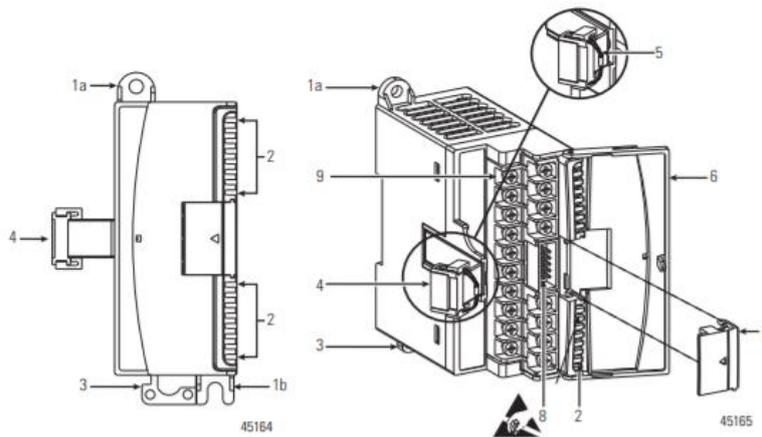
Apéndice B

Selección de Módulos del PLC

MicroLogix 1762-IQ16 Modulo DC entrada



Module Description



Front view

Left side view

	Description		Description
1a	Upper panel mounting tab	5	pull loop
1b	Lower panel mounting tab	6	module door with terminal identification label
2	I/O diagnostic LEDs	7	bus connector cover
3	DIN rail latch	8	bus connector with male pins
4	flat ribbon cable with bus connector (female pins)	9	terminal block

General

Attribute	Value
Dimensions, HxWxD	90 x 40.4 x 87 mm (3.54 x 1.59 x 3.43 in.)
Shipping weight, approx.	230g (8.11oz)
Wire size	See Wire Size and Terminal Screw Torque on page 13
Wiring category ⁽¹⁾	2 - on signal ports
Pilot duty rating	Not rated
Enclosure type rating	IP20
North American temp code	T3C

Este módulo de entrada digitales de señales de 24 voltios la cual adquiere señales discretas del sistema y saber en qué estado se encuentran los diferentes dispositivos como contactores, y poder suministrar esta información al programador lógico el cual seguirá con su funcionamiento dependiendo de la programación.

Apéndice C

Imágenes obtenidas en el transcurso del proyecto
Antes de la implementación del proyecto



Figura 1. Sensores de temperatura en malas condiciones



Figura 2. Motor de bandas averiado(remplazado)



Figura 3. Motor de banda de desperdicios



Figura 4. Sensores inductivos para elevación de campana



Figura 5. Motor y bomba de aceite térmico



Figura 6. Cambio de Motor de la bomba de aceite térmico

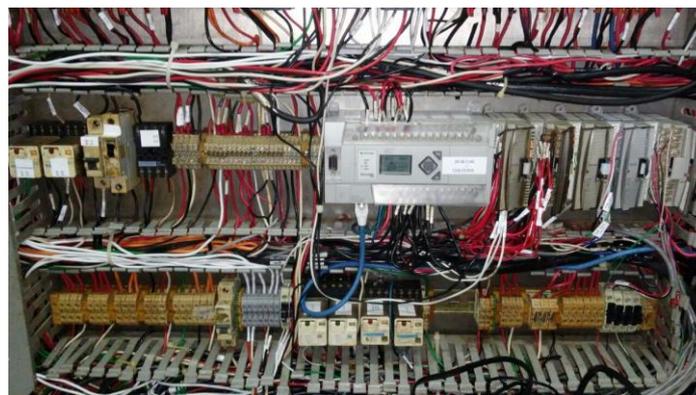


Figura 7. Tablero de control con sus respectivas conexiones.



Figura 8. Actuador motorizado regulador de flujo



Figura x Estructura del freidor



Figura x Intercambiador de calor

FREIDOR INCALFER NOTHUM

2711R-T7T

5.011

INFORME DE TAG

Tags Externos

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Controlador	Descripción	Entrada de datos		Acceso	Actualizar tasa	Escalado	General		A escala	
					mín.	máx.				mín.	máx.	mín.	máx.
ON BOMBA DE RECIRCULACION INCALFER	Boolean	B3:0/5	PLC-1	ON BOMBA DE RECIRCULACION INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
OFF BOMBA DE RECIRCULACION INCALFER	Boolean	B3:0/6	PLC-1	OFF BOMBA DE RECIRCULACION INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON BOMBA DE RECIRCULACION INCALFER	Boolean	B3:4/13	PLC-1	CONFIRMACION ON BOMBA DE RECIRCULACION INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
ON BANDA LARGA INCALFER	Boolean	B3:0/7	PLC-1	ON BANDA LARGA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
OFF BANDA LARGA INCALFER	Boolean	B3:0/8	PLC-1	OFF BANDA LARGA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON BANDA LARGA INCALFER	Boolean	B3:4/14	PLC-1	CONFIRMACION ON BANDA LARGA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
SUBIR CAMPANA INCALFER	Boolean	B3:0/11	PLC-1	SUBIR CAMPANA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
BAJAR CAMPANA INCALFER	Boolean	B3:0/12	PLC-1	BAJAR CAMPANA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
SUBIENDO CAMPANA INCALFER	Boolean	B3:5/8	PLC-1	SUBIENDO CAMPANA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-

BAJANDO CAMPANA INCALFER	Boolean	B3:5/9	PLC-1	BAJANDO CAMPANA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
ON EXTRACTOR INCALFER	Boolean	B3:1/4	PLC-1	ON EXTRACTOR INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
OFF EXTRACTOR INCALFER	Boolean	B3:1/3	PLC-1	OFF EXTRACTOR INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON EXTRACTOR INCALFER	Boolean	B3:0/4	PLC-1	CONFIRMACION ON EXTRACTOR INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
HABILITAR QUEMADOR INCALFER	Boolean	B3:0/13	PLC-1	HABILITAR QUEMADOR INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
DESHABILITAR QUEMADOR INCALFER	Boolean	B3:0/14	PLC-1	DESHABILITAR QUEMADOR INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION HABILITADO QUEMADOR INCALFER	Boolean	B3:0/0	PLC-1	CONFIRMACION HABILITADO QUEMADOR INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
QUEMADOR ON OFF INCALFER	Boolean	B3:2/4	PLC-1	QUEMADOR ON OFF INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
ON BANDA TRANSPORTADORA INCALFER	Boolean	B3:1/7	PLC-1	ON BANDA TRANSPORTADORA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
OFF BANBA TRASPORTADORA INCALFER	Boolean	B3:1/8	PLC-1	OFF BANBA TRASPORTADORA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON BANDA TRANSPORTADORA INCALFER	Boolean	B3:2/1	PLC-1	CONFIRMACION ON BANDA TRANSPORTADORA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
ON ELEVADOR DE ENTRADA INCALFER	Boolean	B3:2/5	PLC-1	ON ELEVADOR DE ENTRADA INCALFER	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
OFF ELEVADOR DE	Boolean	B3:2/6	PLC-1	OFF ELEVADOR DE	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-

ENTRADA INCALFER				ENTRADA INCALFER									
CONFIRMACION ON ELEVADOR DE ENTRADA INCALFER	Boolean	B3:2/7	PLC-1	CONFIRMACION ON ELEVADOR DE ENTRADA INCALFER	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
ON HIDROLAVADORA 1 INCALFER	Boolean	B3:5/0	PLC-1	ON HIDROLAVADORA 1 INCALFER	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
OFF HIDROLAVADORA 1 INCALFER	Boolean	B3:5/1	PLC-1	OFF HIDROLAVADORA 1 INCALFER	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON HIDROLAVADORA 1 INCALFER	Boolean	B3:5/2	PLC-1	CONFIRMACION ON HIDROLAVADORA 1 INCALFER	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
ON HIDROLAVADORA 2 INCALFER	Boolean	B3:5/3	PLC-1	ON HIDROLAVADORA 2 INCALFER	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
OFF HIDROLAVADORA 2 INCALFER	Boolean	B3:5/4	PLC-1	OFF HIDROLAVADORA 2 INCALFER	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON HIDROLAVADORA 2 INCALFER	Boolean	B3:5/5	PLC-1	CONFIRMACION ON HIDROLAVADORA 2 INCALFER	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
TEMP ENTRADA ACEITE TERMICO INCALFER	Real	F8:83	PLC-1	TEMP ENTRADA ACEITE TERMICO INCALFER	-999999	999999	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
TEMP SALIDA ACEITE TERMICO INCALFER	Real	F8:84	PLC-1	TEMP SALIDA ACEITE TERMICO INCALFER	-999999	999999	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
TEMP ENTRADA ACEITE VEGETAL INCALFER	Real	F8:85	PLC-1	TEMP ENTRADA ACEITE VEGETAL INCALFER	-999999	999999	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
TEMP SALIDA ACEITE VEGETAL INCALFER	Real	F8:86	PLC-1	TEMP SALIDA ACEITE VEGETAL INCALFER	-999999	999999	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-

TEMPERATURA FREIDOR INCALFER	Real	F8:1	PLC-1	TEMPERATURA FREIDOR INCALFER	- 999999	999999	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
SETPOINT TEMP FREIDOR INCALFER	Real	F8:4	PLC-1	SETPOINT TEMP FREIDOR INCALFER	- 999999	999999	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
APERTURA VALVULA DEL QUEMADOR INCALFER	Real	F8:3	PLC-1	APERTURA VALVULA DEL QUEMADOR INCALFER	- 999999	999999	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
ON BOMBA RECIRCULACION NOTHUM	Boolean	B3:5/10	PLC-1	ON BOMBA RECIRCULACION NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
OFF BOMBA RECIRCULACION NOTHUM	Boolean	B3:6/0	PLC-1	OFF BOMBA RECIRCULACION NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON BOMBA DE RECIRCULACION NOTHUM	Boolean	B3:5/11	PLC-1	CONFIRMACION ON BOMBA DE RECIRCULACION NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
ON BANDA PRODUCTO NOTHUM	Boolean	B3:6/11	PLC-1	ON BANDA PRODUCTO NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
OFF BANDA AFRECHO NOTHUM	Boolean	B3:7/0	PLC-1	OFF BANDA AFRECHO NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON BANDA PRODUCTO NOTHUM	Boolean	B3:6/6	PLC-1	CONFIRMACION ON BANDA PRODUCTO NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
SUBIR CAMPANA NOTHUM	Boolean	B3:5/12	PLC-1	SUBIR CAMPANA NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
BAJAR CAMPANA NOTHUM	Boolean	B3:5/14	PLC-1	BAJAR CAMPANA NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
SUBIENDO CAMPANA NOTHUM	Boolean	B3:5/13	PLC-1	SUBIENDO CAMPANA NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
BAJANDO CAMPANA NOTHUM	Boolean	B3:5/15	PLC-1	BAJANDO CAMPANA NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-
ON EXTRACTOR NOTHUM	Boolean	B3:6/7	PLC-1	ON EXTRACTOR NOTHUM	-	-	Lectura/Escritura	500	False	-	-	-	-

OFF EXTRACTOR NOTHUM	Boolean	B3:6/8	PLC-1	OFF EXTRACTOR NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON EXTRACTOR NOTHUM	Boolean	B3:6/14	PLC-1	CONFIRMACION ON EXTRACTOR NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
HABILITAR QUEMADOR NOTHUM	Boolean	B3:7/2	PLC-1	HABILITAR QUEMADOR NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
DESHABILITAR QUEMADOR NOTHUM	Boolean	B3:7/4	PLC-1	DESHABILITAR QUEMADOR NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION HABILITADO QUEMADOR NOTHUM	Boolean	B3:7/3	PLC-1	CONFIRMACION HABILITADO QUEMADOR NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
QUEMADOR ON OFF NOTHUM	Boolean	B3:0/9	PLC-1	QUEMADOR ON OFF NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
ON BANDA AFRECHO NOTHUM	Boolean	B3:6/15	PLC-1	ON BANDA AFRECHO NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
OFF BANBA PRODUCTO NOTHUM	Boolean	B3:6/12	PLC-1	OFF BANBA PRODUCTO NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON BANDA AFRECHO NOTHUM	Boolean	B3:6/10	PLC-1	CONFIRMACION ON BANDA AFRECHO NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
ON ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Boolean	B3:6/3	PLC-1	ON ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
OFF ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Boolean	B3:6/4	PLC-1	OFF ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
CONFIRMACION ON ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	Boolean	B3:6/2	PLC-1	CONFIRMACION ON ELEVADOR DE ENTRADA NOTHUM	-	-	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
TEMP ENTRADA ACEITE	Real	F8:41	PLC-1	TEMP ENTRADA ACEITE	-999999	999999	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-

TERMICO NOTHUM				TERMICO NOTHUM									
TEMP SALIDA ACEITE TERMICO NOTHUM	Real	F8:42	PLC-1	TEMP SALIDA ACEITE TERMICO NOTHUM	- 99999 99	9999 999	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
TEMP ENTRADA ACEITE VEGETAL NOTHUM	Real	F8:87	PLC-1	TEMP ENTRADA ACEITE VEGETAL NOTHUM	- 99999 99	9999 999	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
TEMP SALIDA ACEITE VEGETAL NOTHUM	Real	F8:88	PLC-1	TEMP SALIDA ACEITE VEGETAL NOTHUM	- 99999 99	9999 999	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
TEMPERAT URA FREIDOR NOTHUM	Real	F8:89	PLC-1	TEMPERATU RA FREIDOR NOTHUM	- 99999 99	9999 999	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
SETPOINT TEMP FREIDOR NOTHUM	Real	F8:40	PLC-1	SETPOINT TEMP FREIDOR NOTHUM	- 99999 99	9999 999	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-
APERTURA VALVULA DEL QUEMADOR NOTHUM	Real	F8:44	PLC-1	APERTURA VALVULA DEL QUEMADOR NOTHUM	- 99999 99	9999 999	Lectura/Es critura	500	False	-	-	-	-

Tags Globales

Etiqueta de origen	Etiqueta de sistema	Etiqueta de destino	Acceso
-	Borrar Estado de Todas las Alarmas	-	Lectura
-	Borrar Todas las Alarmas	-	Escritura
-	Brillo LCD	-	Lectura/Escritura
-	Confirmar Todas las Alarmas	-	Escritura
-	Control Protector de Pantalla	-	Escritura
-	Espacio RAM	-	Lectura
-	Fecha Corta	-	Lectura
-	Fecha Larga	-	Lectura
-	Idioma	-	Lectura/Escritura
-	Memoria Almacenamiento Libre	-	Lectura
-	Memoria Aplicación Libre	-	Lectura
-	Modo de impresión	-	Escritura

-	Número de Pantalla Actual	-	Lectura/Escritura
-	Reloj Sistema - Año	-	Lectura/Escritura
-	Reloj Sistema - Día	-	Lectura/Escritura
-	Reloj Sistema - Hora	-	Lectura/Escritura
-	Reloj Sistema - Mes	-	Lectura/Escritura
-	Reloj Sistema - Minutos	-	Lectura/Escritura
-	Reloj Sistema - Segundos	-	Lectura/Escritura
-	Tiempo de Espera en Reposo	-	Lectura/Escritura
-	Usuario Actual	-	Lectura

INFORME DE PANTALLA

Informe de Lista de Pantalla

Nombre	Número	Descripción	Derechos
MENU PRINCIPAL	1	-	-
MOTORES INCALFER 1	2	-	-
MOTORES INCALFER 2	3	-	-
TEMPERATURAS INCALFER	4	-	-
HIDROLAVADORAS INCALFER	5	-	-
QUEMADOR INCALFER	6	-	-
MOTORES NOTHUM 1	7	-	-
MOTORES NOTHUM 2	8	-	-
TEMPERATURAS NOTHUM	9	-	-
QUEMADOR NOTHUM	10	-	-
Diagnostics	1001	-	-
Alarm Banner	1002	-	-

Apéndice E

Control PID experimental

Para los tres primeros pasos del proceso se elaboró un código que manejaba los datos obtenidos de la comunicación con el PLC con el computador.

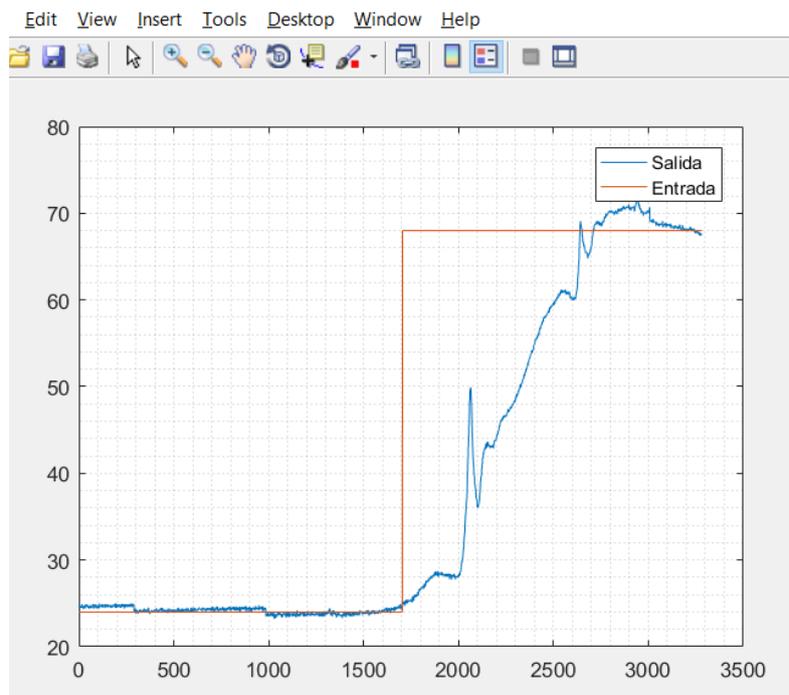
- a) Identificación de datos de la planta del sistema.
- b) Determinación de constante de tiempo y filtro para datos.
- c) Obtención de puntos de operación de entrada y salida del sistema.

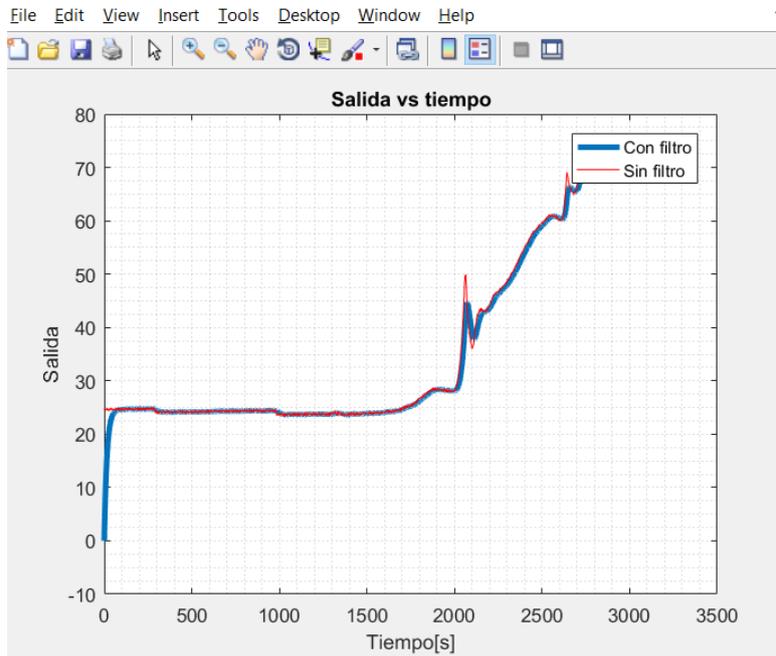
```
Datos de excel
datos=xlsread('temperatura','Hoja1','A2:C3282')
%Datos de entrada
in=datos(:,3);
%datos de salida
out=datos(:,2);
%Gráfica de la entrada y la salida
figure(1);
plot(datos(:,2));
hold on;
plot(datos(:,3));
grid minor;
%Matriz de tiempo
t=datos(:,1);
%Tiempo de estabilización
Tss=3041
Tao=Tss/4; %Constante de tiempo
p=5/Tao;
%Filtro para la salida
filtro=tf(10*p,[1 10*p]);
%Guardar la salida aplicando el filtro
outf=lsim(filtro,out,t);
figure(2);
% Gráfica de la salida con filtro vs el tiempo
plot(t,outf,'LineWidth',3);
title('Salida vs tiempo'); %Titulo de la gráfica
grid minor; %Cuadrillas con la menor división
hold on;
% Gráfica de la salida sin filtro vs el tiempo
plot(t,out,'r');
xlabel('Tiempo[s]'); %Nombre del eje x
ylabel('Salida'); %Nombre del eje y
```

```

%Punto de operación del sistema
In_op=24;
out_op=mean(outf(3128:3281));
%Resta de las entradas y salidas
in_mop=in-In_op;
out_Mop=outf-In_op;
%Gráfica de las entradas y salidas despues de filtrar
figure(3);
% Gráfica de la entrada con filtro vs el tiempo
plot(t,in_mop,'LineWidth',1);
title('Salida vs tiempo'); %Titulo de la gráfica
grid minor; %Cuadrillas con la menor división
hold on;
% Gráfica de la salida con filtro vs el tiempo
plot(t,out_Mop,'LineWidth',1);
xlabel('Tiempo[s]'); %Nombre del eje x
ylabel('Salida'); %Nombre del eje y
%función de transferencia
G=tf(0.735,[1.556e05 201.8 1]);
%Controlador PID zpk
C1=zpk([-0.001688 -0.007815],[0],25656);
%Controlador PID Kp, Ki, KD
C2=tf([25656 243.809 0.338447],[1 0]);

```

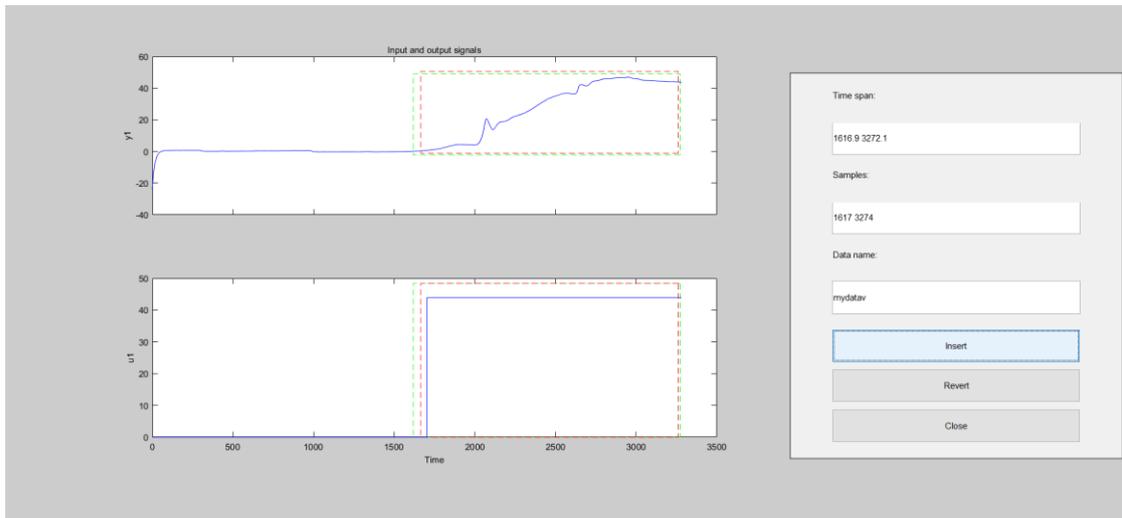




$$G = \frac{0.735}{155600 s^2 + 201.8 s + 1}$$

d) Selección de rango de datos válidos para sistema

Data Format for Signals	
Time-Domain Signals <input type="button" value="v"/>	
Workspace Variable	
Input:	<input type="text" value="in_mop"/>
Output:	<input type="text" value="out_Mop"/>
Data Information	
Data name:	<input type="text" value="mydata"/>
Starting time:	<input type="text" value="21"/>
Sample time:	<input type="text" value="1"/>
<input type="button" value="More"/>	
<input type="button" value="Import"/>	<input type="button" value="Reset"/>
<input type="button" value="Close"/>	<input type="button" value="Help"/>



- e) Comando Ident para obtención de función de transferencia.
- f) Obtención de funciones de transferencia con process model.

Transfer Function

$$\frac{K}{(1 + (2 \text{ Zeta } Tw) s + (Tw s)^2)}$$

Poles

2 Underdamped

Zero

Delay

Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	0.72753	Auto	[-Inf Inf]
Tw	<input type="checkbox"/>	395.6393	Auto	[0 375312.70]
Zeta	<input type="checkbox"/>	0.24607	Auto	[0 Inf]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]

Initial Guess

Auto-selected

From existing model:

User-defined Value-->Initial Guess

Disturbance Model: None

Focus: Simulation

Initial condition: Auto Regularization...

Covariance: Estimate Options...

Display progress

Continue

Name:

Estimate Close Help

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	0.77024	Auto	[-Inf Inf]
Tw	<input type="checkbox"/>	386.8362	Auto	[0 375312.70]
Zeta	<input type="checkbox"/>	0.31142	Auto	[0 Inf]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0.0010572	Auto	[0 10000]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]

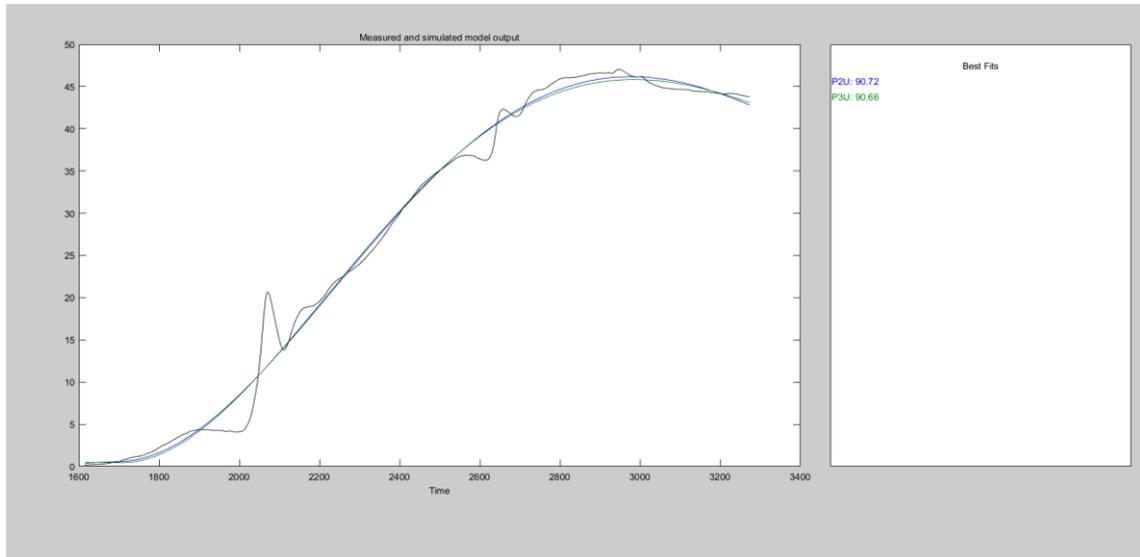
Initial Guess
 Auto-selected
 From existing model:
 User-defined

Disturbance Model: Initial condition:
Focus: Covariance:

Display progress

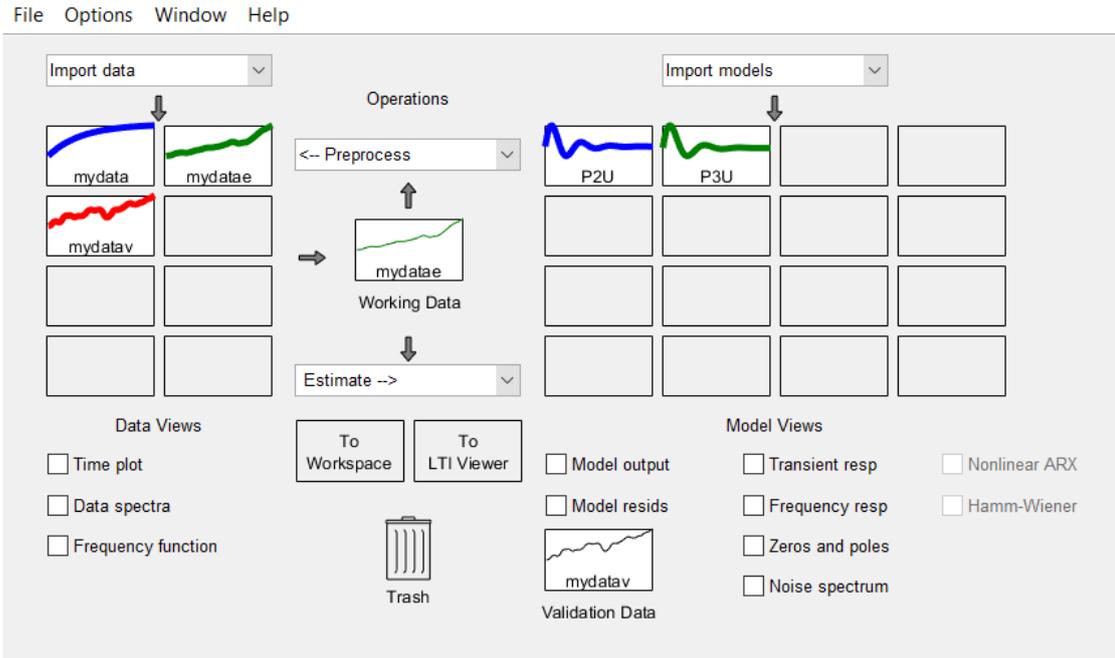
Name:

g) Estimar función de transferencia más cercana a la curva de datos del sistema.

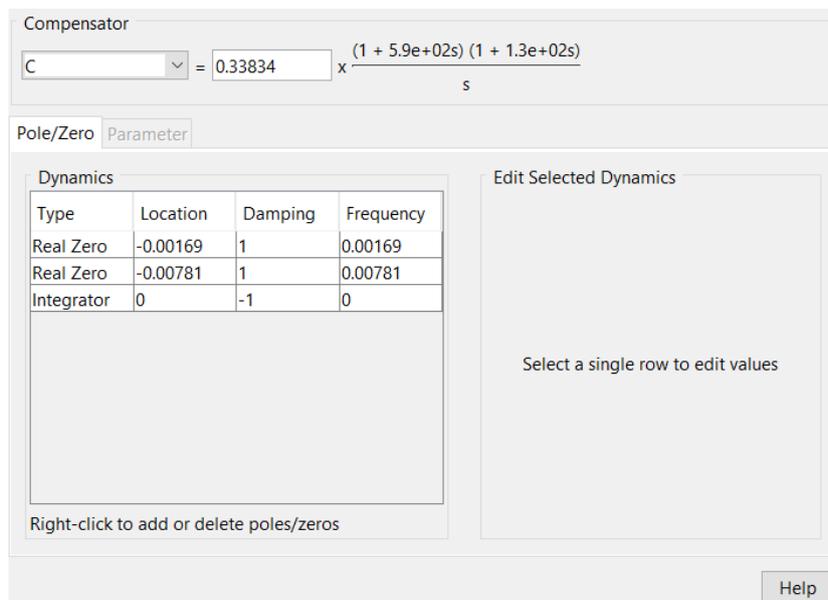


h) Grafica de función de transferencia.

i) Uso de comando Sisotool



- Se añadió un integrador y dos ceros al controlador para diseñar los controladores en base a los requerimientos de diseño.
- Obtención de controladores.



A continuación, se muestran las gráficas cumpliendo los requerimientos de diseño propuestos; pasando el tiempo de estabilización de 50 minutos a 2.45 minutos, de acuerdo con el diseño del controlador establecido.

