

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**AUTOMATIZACIÓN PARA UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE
ESENCIAL DE EUCALIPTUS (EUCALYPTUS GLOBULOS) POR EL
MÉTODO DE ARRASTRE DE VAPOR**

Proyecto de grado presentado para la obtención del Grado de Licenciatura

POR:

**CARMEN XIMENA CLAURE MARIN
JOSE LUIS LOAYZA ROLLANO**

TUTOR:

ING. FREDDY VALLE VELASQUEZ

CO-TUTOR:

ING. JOSE LUIS TORREZ CAVIÑA

LA PAZ – BOLIVIA

2023



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

A mis padres Víctor y Cristina, por su cariño y apoyo incondicional durante todos estos años.

A mi hermano Cristian, por su paciencia y estar conmigo en todo momento. A mi hermana Betty, quien siempre me ha motivado a seguir adelante.

A mi madre querida Yola Pilar por todo el cariño incondicional y apoyo para terminar mi carrera profesional, a mis hermanos Miguel Angel, Carmen Rosa, Juan Carlos y Marco Antonio, por toda su ayuda y comprensión, a Dios por acompañarme en todo este camino. Y en especial a mi padre Nicanor que está en el cielo y ahora cuida de mí y mi familia, por darme todas esas herramientas en la vida para poder ser el profesional que ahora soy gracias a él por todo su esfuerzo y la fe que puso en mí, te digo “gracias papá por todo”.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Ingeniero Freddy Valle y al Ingeniero Jose Luis Torrez por confiar en el desarrollo del proyecto.

Y sobre todo agradezco a Dios y al Universo por darme vida y dar vida a todas las personas que me rodean.

Agradezco a Dios por ayudarme en todo mi camino.

Agradecer a mi tutor el Ingeniero Marco Freddy Valle, a mi co-tutor ingeniero Jose Luis Torrez por ser mi guía en mi formación profesional y personal para poder obtener mi título académico, ser un gran amigo y apoyo para el desarrollo de este proyecto.

Agradecer a toda mi familia, primos, tíos y amigos por el apoyo moral y emocional que siempre me dieron.

Agradecer a la Universidad Mayor de San Andrés, a la gran Facultad de Ingeniería y a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Electrónica por proporcionarme todos los conocimientos en los años de estudio.

RESUMEN

El proceso de extracción de aceite esencial de Eucalipto por el método de arrastre de vapor, se divide en dos etapas principales que requiere de monitoreo y control.

La primera etapa consiste en un generador de vapor, donde se requiere mantener una temperatura controlada y se utilizan sensores para monitorear estos parámetros y controladores para ajustarlos automáticamente según sea necesario. La segunda etapa consiste, en un intercambiador de calor que refrigera el vapor por medio de un serpentín sumergido en líquido refrigerante, se condensa el vapor para obtener una mezcla de agua (Hidrolato) y aceite. Por diferencia de densidad de las dos sustancias se llega a separar posteriormente.

La automatización permite homogenizar la calidad del aceite esencial extraído, donde se pueden tomar muestras y analizarlas para garantizar la calidad del producto final. Se realiza el registro de datos del tiempo y temperatura de la etapa del generador de vapor. Esto facilita el seguimiento y la documentación del proceso. La automatización permite la supervisión y el control del sistema de extracción de aceite esencial de eucalipto de forma remota, lo que facilita la gestión y la resolución de problemas a distancia.

ÍNDICE

CAPITULO I.- MARCO CONTEXTUAL	12
1 INTRODUCCION.....	12
1.1 Antecedentes	12
1.2 Planteamiento del Problema.....	13
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo General.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Justificación.....	15
1.4.1 Justificación Tecnológica	15
1.4.2 Justificación Académica	16
1.4.3 Justificación Social	16
1.5 Alcances y Limites	16
1.5.1 Alcances.....	16
1.5.2 Limitaciones.....	16
1.6 Descripción de la Solución Propuesta.....	17
CAPITULO II.- MARCO CONCEPTUAL.....	20
2 ACEITE ESENCIAL	20
2.1 Métodos de extracción de aceites esenciales.....	21
2.1.1 Enfleurage.....	21
2.1.2 Extracción con Solventes.....	21
2.1.3 Extracción por Prensado	22
2.1.4 Extracción con Fluidos Supercríticos	23
2.1.5 Hidrodestilación o Extracción por Arrastre de Vapor	24
2.2 Eucalipto.....	25

2.3 Densidad de los Aceites Esenciales.....	26
2.4 Rendimiento de los Aceites Esenciales.....	27
2.5 Eucalipto en Bolivia.....	28
2.6 Aceite Esencial de Eucalipto.....	28
2.6.1 Propiedades Físicas del Aceite Esencial de Eucalipto	29
2.6.2 Aplicación y usos del Aceite Esencial de Eucalipto	29
2.6.3 Toxicología del Aceite Esencial de Eucalipto	31
CAPITULO III.- DISEÑO DEL PROYECTO.....	32
3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	32
3.1 Etapas del Proceso de Extracción de Aceite Esencial	33
3.1.1 Distribución de Agua.....	33
3.1.2 Calentamiento de la Materia Prima	34
3.1.3 Enfriamiento (Condensación).....	35
3.2 Diseño del prototipo de extracción de aceite esencial de eucalipto	36
3.2.1 Elementos que componen el sistema	36
3.2.1.1 Tanque alimentador de agua (Tanque 1):	36
3.2.1.2 Refrigeración (Tanque 3).....	43
3.2.1.3 Diseño Eléctrico y Electrónico	47
3.2.1.4 PLC (Controlador Lógico Programable) LOGO! 12/24RCEo	48
3.2.1.5 Sensor de Temperatura LM35	50
3.3 Proceso Eléctrico Electrónico.....	53
3.3.1 Funcionamiento del tablero de control	53
3.3.1.1 Fuente de Alimentación Conmutada 1606-XLP.....	55
3.3.1.2 Fuente de Alimentación Conmutada JMD20-12	57
3.3.1.3 RELÉ 700-HLT1Z DE ALLEN BRADLEY	57

3.3.1.4	Relé de Estado Solido: El SSR-40DA.....	59
3.3.2	Circuito de potencia.....	61
3.3.2.1	Electroválvula.....	61
3.3.2.2	Bomba Periférica Pentax.....	63
3.3.3	Programación de PLC en LOGO Soft Confort.....	65
3.3.4	Configuración de PLC LOGO! con LOGO! Web Editor.....	70
3.3.5	Programación en LOGO! Web Editor.....	70
3.4	DISEÑO DEL CONTROLADOR:	73
3.4.1	Respuesta temporal.....	74
3.4.2	Especificaciones de desempeño.....	76
3.4.3	Tratamiento de las especificaciones de desempeño.....	76
3.4.4	El procedimiento considerado.....	78
3.4.5	La obtención del Controlador.....	78
3.4.6	Compensador en adelanto.....	79
3.4.7	Justificar los resultados, ajustes o consideraciones efectuadas.....	81
3.4.8	Análisis del Sistema Completo.....	81
3.4.9	El análisis de respuesta temporal, identificando sus características.....	82
3.4.10	El análisis de respuesta en frecuencia, identificando sus características.....	84
3.4.11	El análisis en espacio de estados, identificando sus características.....	86
3.4.12	El análisis de estabilidad externa (absoluta y relativa) e interna.....	86
3.4.13	La representación externa e interna, en tiempo continuo y discreto.....	87
3.4.14	El tipo de respuesta temporal.....	87
3.4.15	Las características temporales de la respuesta transitoria.....	88
3.4.16	Las características temporales de la respuesta de régimen o estacionaria.....	88

3.4.17 Si fuera inestable, evaluar a lazo cerrado.	88
3.4.18 Interpretar los resultados.....	89
3.4.19 SIMULACIÓN EN FRECUENCIA:.....	89
3.4.19.1 El tipo de respuesta de frecuencia.....	89
3.4.19.2 Las características frecuenciales de la respuesta en magnitud y fase.	90
3.4.19.3 Interpretar los resultados.....	90
3.4.19.4 Las formas canónicas.	90
CAPITULO IV.- IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO	92
4 IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	98
4.1 Implementación y pruebas.....	99
4.2 Costos de implementación del prototipo	105
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
5 CONCLUSIONES	107
6 RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFIA.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Densidad de los aceites esenciales.	27
Tabla 2 - Rendimiento de los aceites esenciales.	28
Tabla 3 - Composición del aceite esencial de Eucalipto.....	29
Tabla 4 - Entradas analógicas, digitales y salidas digitales.	48
Tabla 5 - Características de PLC LOGO! 052-2MD08-0BA0	49
Tabla 6 - Carga total de los actuadores.....	53
Tabla 7 - Tabla de la función OR bloque B007.....	65
Tabla 8 - Entradas analógicas, digitales, red y salidas digitales.	71
Tabla 9 - Temperatura y BITS.....	73
Tabla 10 -Costos de Implementación del prototipo.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Proceso de extracción de aceite esenciales por el método de arrastre de vapor.....	14
Figura 2 - Diagrama del prototipo de extracción de aceite esencial de Eucalipto.	18
Figura 3 - Generador de vapor.	18
Figura 4 - Condensador.....	19
Figura 5 - Extracción por arrastre de vapor.....	24
Figura 6 - Hojas jóvenes de Eucalipto (<i>Eucalyptus Globulus</i>)	26
Figura 7 - Hojas maduras y fruto de Eucalipto (<i>Eucalypto Globulus</i>)	26
Figura 8 - Diagrama de instrumentación de tuberías o P&ID del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto.....	32
Figura 9 - Válvula de bola.....	33
Figura 10 - Válvula Solenoide Eléctrica.	34
Figura 11 - <i>LM35</i> sensor de temperatura encapsulado.....	35
Figura 12 - Gráfico de las dimensiones del Tanque 1.....	37
Figura 13 - Gráfico de las dimensiones del Tanque 2.....	39
Figura 14 - Tabla AWG según el Amperaje.	42
Figura 15 - Gráfico de las dimensiones del Tanque 3.....	44
Figura 16 - Intercambiador de calor de flujo paralelo.....	44
Figura 17 - Serpentin de cobre de 8 espiras	46
Figura 18 - Diagrama de bloques del proceso.....	47
Figura 19 - Controlador programador lógico <i>PLC 6ED1 052-2MD08-0BA0</i>	49
Figura 20 - Características del sensor de temperatura <i>LM35</i>	50
Figura 21 - Amplificador No Inversor.	51
Figura 22 - Amplificador No Inversor.	52
Figura 23 - Simulación de <i>Amplificador No Inversor</i>	53
Figura 24 - Disyuntor principal de <i>32A</i>	54
Figura 25 - Circuito de control.....	54
Figura 26 - Tablero de control del proceso	55

Figura 27 - Fuentes de alimentación compactas de modo conmutado.....	56
Figura 28 - Fuente de alimentación conmutado <i>JMD20-12</i>	57
Figura 29 - Relé 700-Hlt1z De Allen Bradley	58
Figura 30 - SSR-40 DA relevador de estado sólido DC-AC 40 A.....	59
Figura 31 - Circuito de Potencia.	61
Figura 32 – Electroválvula solenoide de 12 voltios	62
Figura 33 -Bomba periferia Pentax 1HP	63
Figura 34 - Diagrama en bloques del inicio de proceso.....	65
Figura 35 - Salida de Impulsos Bloque B006	66
Figura 36 - Simulación de la primera etapa del proceso	66
Figura 37 - Diagrama en bloques de Punto fijo de temperatura y Control de temperatura. ...	67
Figura 38 - Proceso básico para una señal analógica.....	68
Figura 39 - Diagrama en bloque del PI.	69
Figura 40 - Características del bloque B009.....	69
Figura 41 -Entradas del PLC y entradas de Red.	71
Figura 42 -Parámetros de la entrada de red.....	72
Figura 43 - Interfaz gráfica de proceso.	72
Figura 44 - Grafica Step de la función de transferencia de la planta.	74
Figura 45 - Grafica SISOTOOLS de la función de transferencia de la planta.....	75
Figura 46 - Grafica Respuesta al escalón de la planta + controlador.....	87
Figura 47 - Nuestro sistema está dentro del círculo unitario lo que nos dice que es estable. .	88
Figura 48 - Grafica SISOTOOLS de la planta + controlador.	89
Figura 49 - Materiales utilizados para la conexión y conexiones realizadas al <i>tanque 1</i>	92
Figura 50 - Materiales utilizados para la conexión del <i>tanque 2</i>	93
Figura 51 - Conexiones realizadas en el tanque 2.....	94
Figura 52 - Placa perforada	95
Figura 53 - Sensor de temperatura <i>LM35 para el tanque 2</i>	95
Figura 54 - Materiales utilizados para la conexión del <i>tanque 2</i>	96
Figura 55 - Tanque 2.....	96
Figura 56 - Tanque 3.....	97
Figura 57 - Prototipo final de la extracción de aceite esencial de Eucalipto	97

Figura 58 - Tablero Eléctrico de Control y Potencia.	98
Figura 59 - Tablero de Mando.....	99
Figura 60 - Recolección de hojas de Eucalipto	100
Figura 61 - Tanque 2 con la placa perforada.....	100
Figura 62 - Tanque 2 con las hojas de Eucalipto	101
Figura 63 - Cerrando herméticamente el tanque 2	101
Figura 64 - Instalación de las cañerías de cobre.....	102
Figura 65 - Conexión del sensor de temperatura LM35, resistor y electroválvulas.....	102
Figura 66 - Interfaz gráfica y tablero eléctrico.....	103
Figura 67 - Prototipo final funcionando.....	104
Figura 68 - Recolección del aceite esencial de Eucalipto	104
Figura 69 - Aceite esencial de Eucalipto e Hidrolato de Eucalipto	105

LISTA DE ABREVIACIONES O SIGLAS

RBD	Refinada, Blanqueada, Desodorizada
RPM	revoluciones por minuto
GRAS	Generalmente reconocido como seguro
P	presión
T	temperatura
PLC	Controlador Lógico Programable
ISO	Organización Internacional de Normalización
CPU	Unidad Central de Procesamiento
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
MES	sistema de ejecución de fabricación
ERP	Planificación de recursos empresariales
DC	corriente directa
AC	corriente alterna
mA	mili Amperio
mV	mili Voltios
μ A	micro Amperio
SCR	Rectificador Controlado de Silicio
TRIAC	TRIodo para corriente alterna
P&ID	Diagrama de tuberías e instrumentos.
N/C	normal mente cerrada

HP	caballo de fuerza
KW	Kilo Watt
Rf	Resistencia de Función
Ri	Resistencia de entrada
Vo	voltaje de entrada
Vi	voltaje de salida
Mpa	Mega pascales
Cm	centímetros
AWG	Calibre de alambre americano
Td	Tiempo de retardo
Tr	tiempo de crecimiento
Tp	tiempo de pico
Ts	tiempo de establecimiento
BW	Ancho de Banda
dB	decibelio

LISTA DE SÍMBOLOS

© - copyright

@ - arroba

® - marca registrada

CAPITULO I.- MARCO CONTEXTUAL

1 INTRODUCCION

El departamento de La Paz cuenta con una diversidad de vegetación, y se tiene bastante materia prima para obtener aceite esencial. La extracción de aceite esencial de Eucalipto se realiza de manera artesanal mediante la técnica por arrastre de vapor. La materia prima (hojas de Eucalipto), se coloca en un recipiente sin tener contacto con el agua. Posteriormente se aumenta la temperatura hasta alcanzar su punto de ebullición. El calor rompe la cámara de almacenamiento de aceite esencial y se mezcla con el vapor. Mediante el vapor, el aceite esencial es conducido dentro del destilador hasta el condensador, que es simplemente un tubo en forma de espiral que está sumergido en agua fría, condensándose el vapor se obtiene el aceite esencial de Eucalipto.

Al final del proceso de condensación, se obtiene como producto final el aceite esencial de Eucalipto.

Se realizará la automatización del sistema, el cual contará con dos procesos principales: el generador de vapor y un condensador.

En el proceso del generador de vapor, se realiza el control de temperatura del vapor ya que esta temperatura tendría que estar por debajo de los 100°C para evitar que el aceite se quemara, se realiza la implementación de un controlador de temperatura con el fin de automatizar el proceso.

1.1 Antecedentes

La destilación es una operación unitaria de separación de mezclas líquidas utilizadas desde tiempos muy antiguos especialmente para bebidas alcohólicas, hacia el siglo XVI se extiende su aplicación en perfumes, vinagres, aceites, entre otros productos sin embargo en este siglo se han desarrollado progresivamente y gracias al desarrollo de la industria del ingenio petrolero, solventes,

realización de productos farmacéuticos y petroquímicos, constituyéndose en una operación muy esencial, con gran desarrollo y aplicación tecnológica, con respaldo de la termodinámica molecular y con avances importantes con el diseño, construcción, simulación y automatización para el proceso de destilación (Alfredo Arias Jara Ingeniero, 2011).

Los aceites esenciales tienen un valor en sus propiedades aromáticas, medicinales y terapéuticas. Durante siglos se han empleado en cosmética, perfumería y medicina.

Con el avance tecnológico producido se permitió ampliar el conocimiento sobre estas sustancias, y desarrollar los métodos existentes para su obtención a gran escala. Además, durante las últimas décadas se está viendo un aumento cada vez mayor del interés de los productos naturales. Como alternativa a los productos químicos o sintéticos que en ocasiones puede ser perjudicial para la salud.

1.2 Planteamiento del Problema

En el área rural y urbana del departamento de La paz, la mayor parte de los procesos para la extracción de aceite esencial de Eucalipto se realiza de manera empírica.

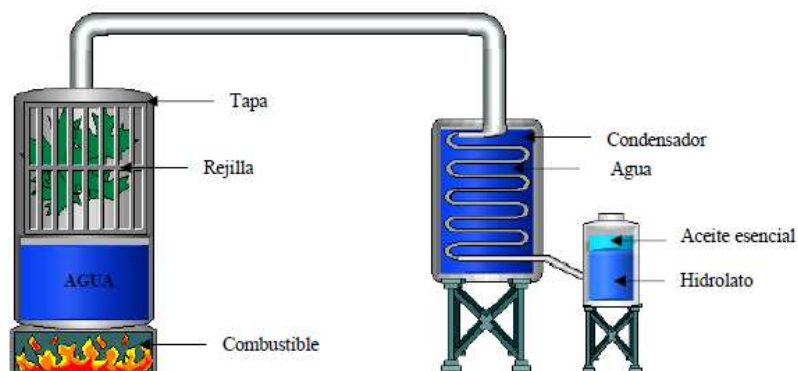
Se realiza de la siguiente manera:

Se llenó $\frac{3}{4}$ partes de agua en un recipiente, en la parte superior del contenedor, sobre una rejilla se introduce las hojas de eucalipto sin tener contacto con el agua.

Posteriormente se calienta el contenedor hasta alcanzar el punto de ebullición, lo que permite que el vapor de agua libere el aceite esencial y mediante ese proceso extraerlo por una salida que tiene el recipiente en la parte superior. Para que el producto fluya hacia el condensador.

El proceso de condensación consta de un sistema de flujo de agua, la cual debe estar a una temperatura ambiente (15-17°C). Para obtener el aceite esencial de eucalipto que es la parte final del proceso.

Figura 1 - Proceso de extracción de aceite esenciales por el método de arrastre de vapor.



Fuente: Modificado de “Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales de Plantas Medicinales y Aromáticas” (Robert & Brown, 2004).

Por la explicación brindada el sistema no cuenta con un control de temperatura del contenedor de las hojas de eucalipto, lo cual es importante para tener un proceso óptimo para la extracción de aceite esencial de eucalipto, y obtener el máximo rendimiento de la materia prima.

La implementación de la automatización en el sistema se optimizará el proceso en la producción de aceite esencial de eucalipto.

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente pregunta:

¿Será posible automatizar el proceso de extracción de aceite esencial de Eucalipto logrando optimizar el proceso para reducir el trabajo del operador?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar la automatización del proceso de extracción de aceite esencial de Eucalipto por el método de arrastre de vapor. Implementando un Controlador Lógico Programable (PLC), sensores y actuadores.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

A continuación, presentamos los principales objetivos específicos:

- Investigar acerca de los diferentes métodos de extracción de aceite esencial.
- Identificar las características del proceso mediante el método la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor.
- Investigar las características y seleccionar el tipo el Controlador Lógico Programable (PLC).
- Determinar las variables a controlar en el sistema de extracción de aceite esencial por el método de arrastre de vapor.
- Seleccionar los sensores adecuados que se utilizara para un óptimo funcionamiento del proceso.
- Diseñar el circuito de control y de potencia.
- Realizar el armado del tablero eléctrico.
- Implementar el prototipo del proceso de extracción de aceite esencial por el método de arrastre de vapor.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo automatizado.

1.4 Justificación

1.4.1 *Justificación Tecnológica*

Los proyectos que se basan en la automatización de control de procesos, garantizan que un producto cuenta con la misma calidad desde el primer producto hasta el último producto, logrando que el proceso y calidad del producto final no depende del operador y que el mismo permanezca en constante supervisión.

1.4.2 Justificación Académica

El presente proyecto, contribuye académicamente al diseño e implementación en la automatización de un proceso, aplicando los conocimientos obtenidos en la carrera de Ingeniería Electrónica.

1.4.3 Justificación Social

El aceite esencial de Eucalipto se emplea en el campo de la salud, saborizante y aromatizante; para suplir la demanda en estos sectores comerciales se debe elaborar en mayor cantidad a menor costo.

1.5 Alcances y Limites

1.5.1 Alcances

El prototipo a ser diseñado considera los siguientes aspectos:

- El sistema ensamblado será un prototipo automatizado, teniendo en cuenta que, para iniciar el proceso, se tendrá que introducir la materia prima de manera manual, dicho estudio se dejará para una posterior investigación.
- Se realizará la implementación de un controlador de temperatura para disminuir la supervisión constante del operador.

1.5.2 Limitaciones

En el presente proyecto se tuvo las siguientes limitaciones:

- Se realiza pruebas del prototipo a escala utilizando como materia prima la planta de Eucalipto, para la extracción de su aceite esencial.
- Se verificará, si la materia prima (hojas de Eucalipto) es o no reutilizable.
- Se realizará pruebas previas de producción para obtener el tiempo de producción de aceite esencial de Eucalipto para el prototipo implementado.

- Debido que el sistema trabaja a presión constante, por el tema de costo no se implementara un manómetro.
- El controlador se adecuará al tipo de PLC disponible para realizar pruebas.
- Se analizará el empleo de un sensor de nivel de agua, debido a las condiciones de trabajo del sensor (elevada temperatura).

1.6 Descripción de la Solución Propuesta

La solución propuesta para desarrollar el sistema considera lo siguiente:

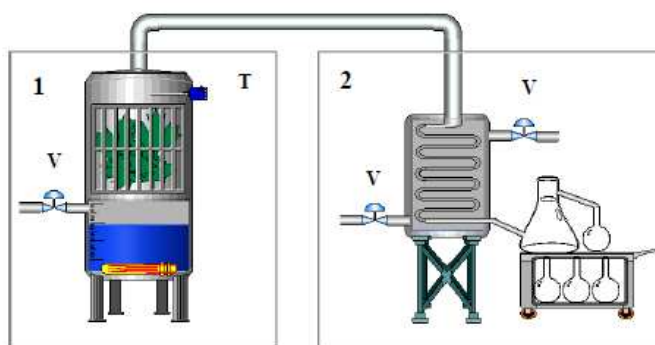
- Investigación y estudio bibliográfico acerca del funcionamiento sobre la extracción de aceite esencial por el método de arrastre de vapor.
- Diseño de un prototipo para implementación y automatización.
- Diseño de un sistema de circulación de agua, para el sistema de condensación.
- Investigación y estudio sobre sensores de temperatura, electro válvulas y bombas de agua para la implementación en el prototipo.
- Diseño de planos eléctricos de control y de potencia.
- Puntualizar las limitaciones del proceso mediante las pruebas a realizar.

La implementación del prototipo se lo realizara de la siguiente manera:

Generador de vapor: Se realizará mediante un calentador de agua.

El condensador: Se obtendrá el aceite esencial de Eucalipto.

Figura 2 - Diagrama del prototipo de extracción de aceite esencial de Eucalipto.

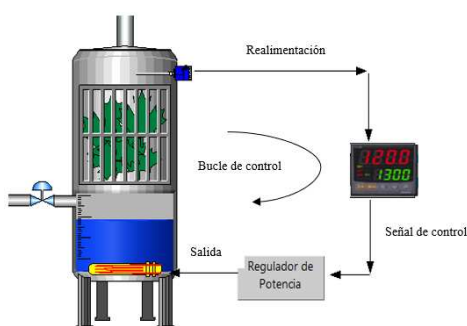


Fuente: Modificado de “Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales de Plantas Medicinales y Aromáticas” (Robert & Brown, 2004).

Generador de vapor: Se realizará la implementación de un controlador de temperatura, se tendrá una entrada para un sensor de temperatura y una salida que será conectado a un actuador. En el controlador de temperatura se debe establecer una temperatura como Set Point (temperatura necesaria para el proceso), que mide la temperatura del proceso, y la compara con la temperatura que se requiere.

En este proceso estará presente el uso de una electro válvula o una bomba de agua para el llenado de agua hasta un determinado nivel, sin tener contacto con la materia prima (hojas de Eucalipto).

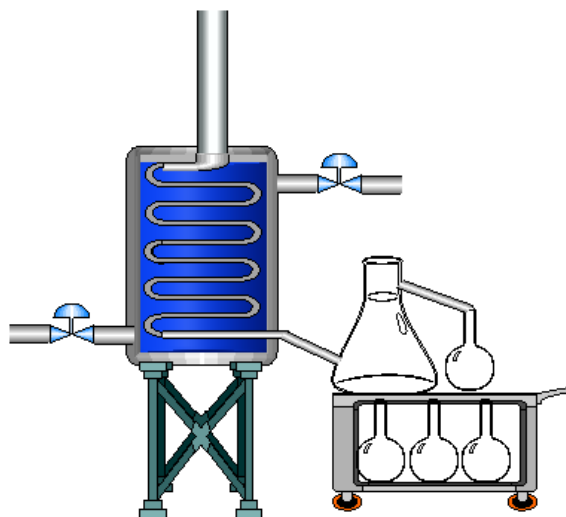
Figura 3 - Generador de vapor.



Fuente: Modificado de “Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales de Plantas Medicinales y Aromáticas” (Robert & Brown, 2004).

Condensador: El aceite extraído, es arrastrado por el vapor de agua hacia el condensador, donde se presenta un cambio de estado en la materia (condensación). En este proceso se realizará la implementación de una electroválvula o una bomba de agua para realizar la una circulación constante de agua (se definirá en el proceso de diseño).

Figura 4 - Condensador



Fuente: Modificado de “Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales de Plantas Medicinales y Aromáticas”
(Robert & Brown, 2004).

CAPITULO II.- MARCO CONCEPTUAL

2 ACEITE ESENCIAL

Según la Organización Internacional de Normalización (ISO) los aceites esenciales son definidos como el producto obtenido a partir de una materia prima natural de origen vegetal, por destilación de vapor de agua, por procesos mecánicos del epicarpio de los frutos cítricos, o por destilación seca, después de la separación de la fase acuosa, si la hubiera, mediante procesos físico (ISO9235 - Norma Española Materias Primas Aromáticas Naturales, 2022)

Los aceites esenciales no son sustancias puras sino una mezcla compleja de compuestos orgánicos volátiles y de carácter aromático que se pueden encontrar en algunas familias de plantas. Generalmente son los que proporcionan el olor característico, y se localizan en diversas partes de la planta como el fruto (anís, comino), la raíz (valeriana, angélica), las flores (rosa, lavanda), las hojas (eucalipto, romero) o la cascara de frutos (bergamota, naranja). Su concentración en la materia prima es muy baja, tanto que a veces resulta imposible su extracción. Normalmente, las plantas más usadas para la obtención de aceites esenciales contienen de medida en torno al 0,5 – 5% en masa de aceite respecto a toda la planta (Villaverde, 2018).

Son líquidos a temperatura ambiente, aromáticos y generalmente ligeros, con densidad inferior a la del agua, aunque hay excepciones. A diferencia de los aceites vegetales son volátiles y su textura no es grasa. Sus puntos de ebullición son altos, por encima del agua. Presenta actividad óptica e índice de refracción alto, propiedades que se usan para determinar su pureza. Son insolubles en agua y otros disolventes polares, pero solubles en alcohol y en la mayoría de disolventes orgánicos como el cloroformo y la acetona (Villaverde, 2018) (Ortuño Sánchez, 2006)

En lo relativo a su composición química, los aceites esenciales son mezclas de elevada complejidad constituidas principalmente por terpenos. Los terpenos son un grupo de hidrocarburos

inodoros que contribuyen muy poco al aroma y actúan como “base” diluyente del aceite esencial. Los responsables del aroma suelen ser sustancias que se encuentran en menor proporción, que son los compuestos orgánicos con grupos funcionales como cetona, alcohol, éter, aldehído, etc. (Ortuño Sánchez, 2006). A pesar de ser estos los componentes minoritarios, su presencia y combinación en los aceites esenciales es primordial para que estos tengan su aroma característico (Villaverde, 2018).

2.1 Métodos de extracción de aceites esenciales

2.1.1 *Enfleurage*

Para esto se utilizan grasas naturales con puntos de ablandamiento alrededor de 40°C, normalmente manteca de cerdo RBD (Refinada, Blanqueada, Desodorizada). Se extiende en bandejas o “chasis” en profundidad no mayor a 5 mm y sobre ella se coloca los pétalos de flores o el material vegetal, desde donde se van a extraer los principios odoríficos, el contacto puede durar de 3 a 5 días. Luego el material vegetal es removido y reemplazado por material fresco, esta operación se repite buscando la saturación de la grasa. Posteriormente la grasa impregnada del principio activo, “le pomade”, se lava con alcohol libre de congéneres (alcohol de perfumería), relación 1/1 dos veces consecutivas. El alcohol se filtra y se destila al vacío (21 in Hg, T 30°C) hasta recuperar un 80% del volumen del alcohol, como mínimo, en el fondo queda un residuo llamado “absolute” (Paredes & Quinatoa, 2010).

2.1.2 *Extracción con Solventes*

El material previamente debe de ser molido, macerado o picado, para permitir mayor área de contacto entre el sólido y el solvente. El proceso ha de buscar que el sólido, o líquido, o ambos, estén en movimiento continuo (agitación), para lograr mejor eficiencia en la operación. Se realiza preferiblemente a temperatura y presión ambiente. El proceso puede ejecutarse por batch (por lotes o cochadas) o en forma continua (percolación, lixiviación, extracción tipo soxhlet). Los solventes

más empleados son: etanol, metanol, isopropano, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo; no se usan clorados ni benceno por su peligrosidad a la salud. Los solventes se recuperan por destilación y pueden ser reutilizados.

El solvente adicionalmente extrae otros componentes como colorantes, gomas, mucilagos, ceras, proteínas, carbohidratos. En la etapa de recuperación de los solventes (atmosfera o al vacío), después de los condensadores ha de disponerse de una unidad de enfriamiento, para la menor pérdida de solvente. El material residual en la martina de destilación, contiene concentrados las materias odoríficas y se le conoce como “concrete”.

En caso de emplear glicoles, aceites vegetales, aceites minerales, como solventes extractores, los componentes odoríficos son imposibles de recuperar desde allí el producto de comercializa como un todo, conocido como “extractos” (Paredes & Quinatoa, 2010).

2.1.3 Extracción por Prensado

También se lo conoce como “expresión”. El material vegetal es sometido a presión, bien sea en prensas tipo batch o en forma continua, dentro de estos se tienen los quipos: tornillo sin fin de baja o alta presión, extractor expeller, extractor centrifugo, extractor decanter y rodillos de prensa. Para los cítricos antiguamente se empleó el método manual de la esponja, especialmente en Italia, que consiste en exprimir manualmente las cascaras con una esponja hasta que se empape de aceite, se exprime entonces la esponja y se libera el aceite esencial.

Otros métodos corresponden a raspado, como el del estilete o “ecuelle”, donde la fruta se pone a girar en un torno y con un estilete se raspa la corteza únicamente; permanentemente cae un rocío de agua que arrastra los detritos y el aceite liberado. Otro proceso emplea una máquina de abrasión similar a una peladora de papas, la “pellatrice” y también hace usa del rocío de agua. En estos procesos se mezcla detritos-agua-aceite y centrifuga a 500 rpm durante 40 minutos y el aceite esencial recuperado se coloca en una nevera a 3°C durante 4 horas, para solidificar gomas y ceras

que se realizan en la superficie. El aceite esencial se guarda en recipientes oscuros a 12°C. los aceites obtenidos por prensado y/o raspado, se les comercializa como “empresion en frio” y cumplen las funciones de odorizantes (smell oils) y saborizantes (taste oils) (Paredes & Quinatoa, 2010).

2.1.4 Extracción con Fluidos Supercríticos

Punto crítico corresponde a las condiciones de temperatura y presión, para un gas o un vapor, por encima de las cuales la sustancia ya no puede ser “licuada” por incremento de presión. Adicionalmente las propiedades de la fase líquida y/o vapor son las mismas, es decir no hay diferencia visible ni medible entre gas y líquido. Se habla así de P_c , T_c , V_c , D_c .

La sustancia más empleada es el dióxido de carbono (CO_2), que en estas condiciones presenta baja viscosidad, baja tensión superficial, alto coeficiente de difusión (10 veces más que un líquido normal), que conlleva a un alto contacto con la superficie del material y puede penetrar a pequeños poros y rendijas del mismo lo que asegura una buena eficiencia en la extracción en un corto tiempo. En la parte final del proceso hay una remoción total del solvente y se realiza a una temperatura baja, se disminuye la pérdida de sustancias volátiles y se evita la formación de sabores y olores extraños “a cocido”.

El dióxido de carbono (CO_2) no es tóxico, ni explosivo, ni incendiario, es bacteriostático y es clasificado por la FDA como GRAS (Generally Recognized As Safe). La temperatura y presión críticas para el dióxido de carbono (CO_2) son P_c 73 bar y T_c 31°C.

La inversión inicial para estos procesos es alta, aun para equipos en pequeña escala, debido a la tecnología involucrada, a los costos de materiales y de construcción.

Los equipos se construyen en acero inoxidable tipo 316, deben soportar altas presiones en su operación y deben de ofrecer un manejo seguro. Por efecto mismo de la escala, para equipos

más grandes, mayor debe de ser la capacidad de la bomba de compresión; mayor el espesor de las paredes, de las bridas en los mismo, de los cierres y sellamientos muy herméticos.

Pueden tener la siguiente solubilidad en dióxido de carbono (CO₂) supercríticos:

- Solubles: Hidrocarburos, éteres, cetonas, lactosas, alcoholes y aldehídos.
- Ligeramente soluble: Grasas, resinas, esteroides, alcaloides y carotenos.
- Insolubles: Azúcares, glucosidos, aminoácidos, plásticos, proteínas y polisacáridos.

Se puede trabajar con dióxido de carbono (CO₂) de alta o baja densidad: (1bar=1atm).
Baja densidad P = 90 bar; T= 30°C. alta densidad P= 150 bar; T= 50°C (Paredes & Quinatoa, 2010).

2.1.5 Hidrodestilación o Extracción por Arrastre de Vapor

A continuación, se presenta en la Figura 5, la destilación por arrastre de vapor.



Fuente: Carreto, Alejandro. Destilación por arrastre de vapor. Apuntes científicos [en línea]. Disponible: <<http://apuntescientificos.org/nerts-ibq2.html>>. (Alfredo José et al., 2013)

De manera general, la Hidro-destilación se describe de la siguiente manera: la materia vegetal es cargada en un Hidro-destilador Véase Figura 2, de manera que forme un lecho fijo. Su estado puede ser molido, cortado, entero o la combinación de estos. El vapor de agua es inyectado mediante un distribuidor interno, próximo a su base y con la presión suficiente para vencer la

resistencia hidráulica del lecho. La generación de vapor puede ser local (hervidor), remota (caldera) o interna (base del recipiente).

Conforme el vapor entra en contacto con el lecho, la materia prima se calienta y va liberando el aceite esencial contenido y este a su vez, debido a su alta volatilidad se va evaporando. Al ser soluble con el vapor circundante, es “arrastrado”, corriente arriba hacia el tope del Hidro-destilado. La mezcla, vapor saturado y aceite esencial, fluye hacia un condensador, mediante un “cuello de cisne” o prolongación curvada del conducto de salida del Hidro-destilador. En el condensador, la mezcla es condensada y enfriada, hasta la temperatura ambiente. A la salida del condensador, se obtiene una emulsión líquida inestable. Que es separada en un decantador dinámico o florentino, después del condensador, en el separador (florentino) deben formarse dos fases: una de aceite esencial y otra de agua. Si el aceite esencial presenta componentes solubles en agua estos quedarán en la fase acuosa y puede comercializarse como tal: agua de rosas, agua de jazmín (Alfredo José et al., 2013).

2.2 Eucalipto

El Eucalipto es un árbol de hoja perenne, que logra obtener una altura de 45 metros. Pertenece a la familia de las mirtáceas (Myrtaceae). Tiene las raíces muy largas y desarrolla un tronco único, recto y grueso. Las hojas tienen dos apariencias, de jóvenes son anchas tiernas y azuladas (Figura 6), al madurar las hojas acaban en punta y de color verde oscuro (Figura 7). Las hojas adultas miden hasta 30 centímetros las flores nacen al final de las ramas y miden unos 3 centímetros. El fruto es aromático, consiste en una capsula romboide de unos 3 centímetros (Figura 7). Todo el árbol tiene un aroma muy característico. (Bustamante, 2021)

Figura 6 - Hojas jóvenes de Eucalipto (*Eucalyptus Globulus*)



Fuente: https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/mediateca/ecoescuela/?attachment_id=4625 (Canal del Área de Tecnología Educativa, 2019)

Figura 7 - Hojas maduras y fruto de Eucalipto (*Eucalipto Globulus*)



Fuente: <https://www.amazon.com/-/es/Semillas-eucalipto-semillas-medicinales-jardinero/dp/B0721CCHGH> (Canal del Área de Tecnología Educativa, 2019)

2.3 Densidad de los Aceites Esenciales.

La densidad es una propiedad característica, significa que es específica de cada material y depende de sus características internas y no de la cantidad de ella; lo cual permite diferenciar a un material de otro con la ayuda de otras propiedades.

La densidad de una sustancia es una medida que nos dice cuánta materia hay de esa sustancia en cierto espacio. Para averiguar la densidad de una sustancia o de un objeto se divide la masa entre el volumen o espacio que ocupa esa sustancia u objeto. Usualmente se usan las unidades de g/ml. (Paredes Punina & Quinatoa Chicaiza, 2010)

Tabla 1 - Densidad de los aceites esenciales.

VEGETAL	NOMBRE CIENTÍFICO	DENSIDAD (g/ml)
Menta	Mentha piperita (EESC)	0,908
Hierba buena	Mentha spicata (N)	0,8907
Hierba buena	Mentha spicata (EESC)	0,919
Manzanilla	Matricaria Chamomilla	0,9018
Eucalipto	Eucaliptus globulus	0,921
Ciprés	Oleuni cupressi	0,871
Torongil	Melisa Officinalis	0,88

Fuente: Aplicación en la industria cosmética de los aceites esenciales.
www.herbotecnia.com. (2009-11-06)

2.4 Rendimiento de los Aceites Esenciales.

Es la cantidad de producto obtenido en una reacción química. El rendimiento absoluto puede ser dado como la masa en gramos o en moles (rendimiento molar). El rendimiento fraccional o rendimiento relativo o rendimiento porcentual, que sirve para medir la efectividad de un procedimiento de síntesis, es calculado al dividir la cantidad de producto obtenido en moles por el rendimiento teórico en moles.

La mayoría de las plantas contienen de 0.01 a 10% de contenido de aceite esencial. La cantidad medida que se encuentra en la mayoría de las plantas aromáticas es alrededor de 1 a 2%. La composición de una esencia puede cambiar con la época de la recolección, el lugar geográfico o pequeños cambios genéticos. (Paredes Punina & Quinatoa Chicaiza, 2010)

Regularmente el contenido de aceites esenciales aumenta después de la lluvia y alrededor del mediodía, cuando se ha eliminado el agua de rocío depositado sobre la planta, y ha comenzado una deshidratación antes de la humedad relativa alta de la noche; la excepción a este comportamiento se representa en la manzanilla que alcanza una mayor concentración de aceite esencial durante la noche. (Naturaesén Inocubar)

Tabla 2 - Rendimiento de los aceites esenciales.

NOMBRE CIENTÍFICO DEL VEGETAL	PARTE DEL VEGETAL UTILIZADO	RENDIMIENTO (%)
Mentha piperita (EESC)	Planta	0,51
Mentha spicata (N)	Planta	0,3
Mentha spicata (EESC)	Planta	0,32
Matricaria Chamomilla	Planta	0,2
Eucaliptus globulus	Hoja	0,8
Oleuni cupressi	Ramas	0,6
Melisa Officinalis	Planta	0,2

Fuente: Aplicación en la industria cosmética de los aceites esenciales. www.foro.deperfumes.com. (2009-12-02)

2.5 Eucalipto en Bolivia

Bolivia tiene alrededor de 51.407.000 hectáreas de bosque en todo su territorio (Agua, 2013). De acuerdo al Censo Agropecuario del 2013, la superficie de uso forestal en Bolivia es alrededor de 13.844.734,6 hectáreas, de las cuales apenas 150.219,3 hectáreas corresponden a plantaciones forestales maderables. De estas 150.219,3 hectáreas, solo 20.9995,4 son plantaciones forestales de eucaliptos, las cuales se encuentran mayormente en Chuquisaca (8.783,6 hectáreas), Cochabamba (4.023,1 hectáreas), Potosí (4.023,1 hectáreas), La Paz (2.733,4 hectáreas) y Santa Cruz (2.205,5 hectáreas). (INE, 2015).

2.6 Aceite Esencial de Eucalipto

El aceite esencial de Eucalipto es extraído a través de la destilación por arrastre de vapor de las hojas de los árboles que crecen de manera silvestre o cultivados.

Este aceite esencial de eucalipto es un antiviral y bactericida, alivia los síntomas de las enfermedades de vías respiratorias. Por eso es un protector durante las epidemias de gripe. La pulverización de una solución del 2% de aceite de eucalipto, mata entre un 70% y un 100% de los estafilococos del aire, según Jean Valnet (1990), parece ser que produce ozono en el que las

bacterias no pueden vivir. Es antiséptico y regenerativo de los tejidos. Se utiliza en masajes para aliviar dolores reumáticos y musculares. (Bermudo Crespo, 2019)

Tabla 3 - Composición del aceite esencial de Eucalipto.

COMPONENTE	FORMULA MOLECULAR	% EN MASA
1-valeraldeido	$C_5H_{10}O$	1,3
α -pineno	$C_{10}H_{16}$	1,91
Canfeno	$C_{10}H_{16}$	0,42
1,8-CINEOL	$C_{10}H_{18}O$	77,53
α -fenaldreno	$C_{10}H_{16}$	8,54
α -terpinol	$C_{10}H_{18}O$	8,48
Piperitona	$C_{10}H_{16}O$	1,82
		100

Fuente: (Bermudo Crespo, 2019)

2.6.1 Propiedades Físicas del Aceite Esencial de Eucalipto

- Líquidos a temperatura ambiente
- Volátiles
- Recién destilados son ligeramente amarillentos
- Densidad inferior a la del agua
- Alto índice de refracción
- Muy poco soluble en agua
- Soluble en alcohol de alto porcentaje
- Soluble en aceites fijos o grasas

2.6.2 Aplicación y usos del Aceite Esencial de Eucalipto

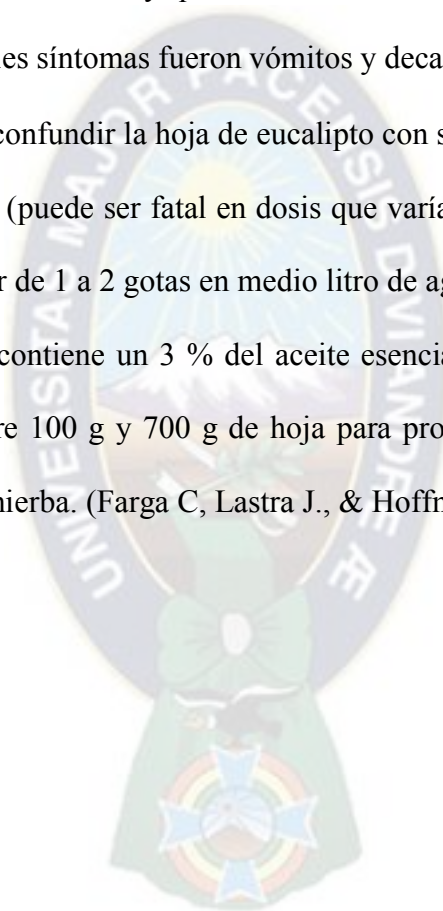
- En enfermedades de vías respiratorias; eficaz en el tratamiento de catarro, resfriado, gripe, asma, bronquitis, dolor de garganta, faringitis, tos, fiebre, sinusitis, rinitis, tópicos

fungicidas (candida); expectorantes, anti-inflamatorios; para la diabetes; desinfectante de heridas y otras afecciones de la piel como aftas bucales, herpes, acné y gingivitis; en el tratamiento de las articulaciones y músculos como artritis, reumatismo, artrosis, distensiones y desgarros y en el tratamiento del mal aliento.

- En la industria cosmética el aceite esencial de eucalipto es utilizado por sus innumerables propiedades. Además de ser un buen antiséptico, es un componente muy aromático lo que determina que aparezca en la composición de numerosos productos como champús para la caspa, dentríficos, jabones, pomadas, lociones, ambientadores, etc.
- En la industria química como un excelente insecticida, fungicida y repelente de insectos y parásitos.
- En el cuidado de la piel, el aceite de eucalipto aumenta la circulación sanguínea cutánea y es formidable para las manchas, los furúnculos y los granos. Se aplica puro en cantidades ínfimas en la zona afectada, aunque si se usa muy concentrado puede irritar la piel. También resulta demasiado fuerte para añadirlo en recetas para el cutis; ahora bien, una gota mezclada con una cucharada de aceite de jojoba constituye un práctico aceite de masaje antiséptico para espalda y cutis con manchas.
- El aceite esencial de eucalipto es un antibiótico y antiinflamatorio por naturaleza y, por tanto, posee una amplia gama de aplicaciones medicinales. En baños e infusiones para casos de cistitis, en compresas para los herpes, friccionado con esponja para reducir la fiebre. Y como analgésico aplicado en compresas en casos de neuralgia, reumatismo y dolores musculares. (Bermudo Crespo, 2019)

2.6.3 Toxicología del Aceite Esencial de Eucalipto

- El consumo prolongado o en forma muy concentrada, provoca irritaciones de las mucosas llegando inclusive a producir lesiones atróficas debido a su efecto vasoconstrictor.
- Un estudio realizado en Queensland, Australia (de donde es originario este árbol) sobre intoxicaciones por aceite de eucalipto en menores de 14 años revela que sería menos tóxico que lo que se creía anteriormente y que los síntomas no están relacionados con las dosis ingeridas. Los principales síntomas fueron vómitos y decaimiento.
- Es muy importante no confundir la hoja de eucalipto con su aceite esencial. Este último es tóxico a dosis elevadas (puede ser fatal en dosis que varían entre los 3,5 y los 21 ml). Lo recomendable es ingerir de 1 a 2 gotas en medio litro de agua. La hoja en cambio no lo es. Pensemos que la hoja contiene un 3 % del aceite esencial como máximo y por lo tanto deberíamos ingerir entre 100 g y 700 g de hoja para producir el efecto tóxico. Un té se prepara con 2 a 3 g de hierba. (Farga C, Lastra J., & Hoffmann A., 1988)

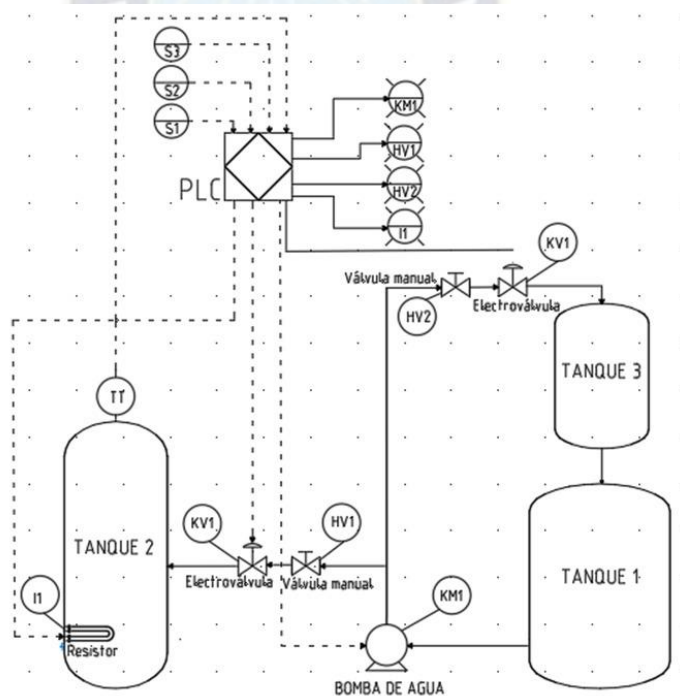


CAPITULO III.- DISEÑO DEL PROYECTO

3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso consiste en obtener aceite esencial de las hojas de eucalipto, por el método de arrastre de vapor. Tiene tres etapas: Distribución de agua, calentamiento de la materia prima (eucalipto) y enfriamiento (condensación) para obtener el producto final (aceite esencial de eucalipto). Se presenta un diagrama de instrumentación de tuberías o P&ID (Piping and Instrumente Diagram) del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto.

Figura 8 - Diagrama de instrumentación de tuberías o P&ID del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto.



Modificado de: Instrumentación Industrial, Antonio Creus

3.1 Etapas del Proceso de Extracción de Aceite Esencial

3.1.1 Distribución de Agua

Consiste en un tanque principal con un volumen aproximado de 50 litros, el cual distribuirá agua, a las otras etapas del proceso. Mediante una bomba de agua que ejerce una presión requerida para el funcionamiento de una válvula solenoide de ½ pulgada N/C (normalmente cerrada).

TANQUE 1: Tiene una capacidad aproximada de 50 litros de agua, lo cual distribuye agua a la etapa de calentamiento y condensación.

BOMBA DE AGUA(KM1): Tiene como función principal, la distribución de agua en el tanque 1 y tanque 2. Mediante una señal que envía el PLC, para que funcione en instantes determinados de tiempo y de esa manera no funcione de manera constante.

VÁLVULA MANUAL (HV1, HV2): Es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de agua para el tanque 2 y tanque 3, a través de una apertura o cierre de giro de 90°.

Figura 9 - Válvula de bola.



Fuente: <https://tameson.es/pages/valvula-de-bola-como-funcionan>

ELECTROVÁLVULAS (KV1, KV2): Una vez que la bomba entra en funcionamiento se necesita un elemento de control, con el cual se pueda habilitar o deshabilitar en determinado tiempo el paso del flujo de agua.

Figura 10 - Válvula Solenoide Eléctrica.



Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/4000060494612.html>

3.1.2 Calentamiento de la Materia Prima

Consiste en un tanque hermético de un volumen aproximado de 27 litros, que es llenado de agua por la etapa de distribución (Tanque 1), hasta un volumen calculado de 13 litros de agua, y también contiene la materia prima almacenado en la parte superior del tanque, y ambos separados por una plancha perforada.

En el mismo tanque se instaló un resistor de calefón, de potencia de 3000 watts, en la parte superior se instaló un sensor de temperatura y se acoplo un niple de bronce para el escape de vapor.

TANQUE 2: Tiene una capacidad aproximada de 30 litros, con lo cual se llena el recipiente solo con 13 litros de agua y el volumen restante se llena con eucalipto. Pero el agua del tanque2 y el eucalipto se encuentran separados por una plancha perforada.

RESISTOR: Esta resistencia térmica tiene una potencia de 3000 watts, está ubicada en la parte inferior del tanque2. Se activa o desactiva la resistencia mediante una señal enviada por el PLC.

SENSOR DE TEMPERATURA: En la parte superior del tanque 2 se instaló un sensor de temperatura LM35.

Figura 11 - LM35 sensor de temperatura encapsulado.



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Enfriamiento (Condensación)

Consiste en un tanque de un volumen de 20 litros, y un serpentín de cobre con un diámetro de 5/8'' por el cual circula un flujo de vapor y el mismo pasa por un estado de condensación por el enfriamiento por un flujo constante de agua fría que se habilita por una válvula solenoide de 1/2 '' N/C (normal mente cerrada), obteniendo como resultado el aceite esencial de eucalipto.

TANQUE 3: Cuenta con una capacidad máxima de 20 litros, en el interior del tanque se instaló un serpentín de cobre. Una vez alcanzado el punto de ebullición del agua en el tanque 2, se habilita la bomba de agua y la electroválvula para llenar el tanque 3, hasta 17 litros y entra a la parte de circulación de agua en el tanque 2 y el tanque 3.

SERPENTIN DE COBRE: En el tanque 2 se realiza una perforación y se realiza la instalación de un tubo de cobre, para que exista un flujo de vapor y fluya mediante el serpentín de cobre, mediante la transferencia de calor existente entre el serpentín y el agua del tanque 3 pueda llegar a condensarse el vapor generado en el tanque 1.

3.2 Diseño del prototipo de extracción de aceite esencial de eucalipto

3.2.1 Elementos que componen el sistema

3.2.1.1 Tanque alimentador de agua (Tanque 1):

Tanque principal de almacena agua, cuyas dimensiones son:

Volumen del recipiente:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \times h \quad (1)$$

Se tiene los siguientes valores:

Diámetro (D) = 36 (cm)

Altura (h) = 49 (cm)

Reemplazando valores:

$$V = \frac{\pi}{4} (36 \text{ cm})^2 \times (49 \text{ cm})$$

$$V = 49875.92 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Realizando la conversión de cm^3 a litros (L):

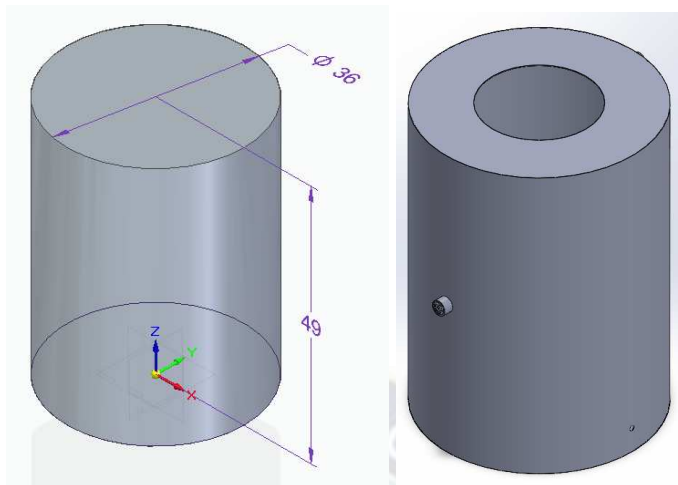
$$49875.92 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} = 49.875 \text{ (L)}$$

Volumen del recipiente en litros:

$$V = 49.9 \text{ (L)}$$

Redondeando a un valor exacto, se trabajará con un volumen de 50 (L)

Figura 12 - Gráfico de las dimensiones del Tanque 1.



Fuente: Elaboración propia en Solid Edge y solidworks

Se tiene como dato la cantidad de producto que se quiere obtener, se considera datos de rendimiento y densidad teórico para su análisis.

El volumen asumido a obtener es 10 ml de aceite esencial de eucalipto. Utilizando el rendimiento y la densidad (datos teóricos), se determina la cantidad de Eucalipto que se tendrá que destilar para obtener dicho volumen.

Materia prima (Eucalyptus Globulus)

Rendimiento = $\eta = 0.8$

Densidad = $\delta = 0.921$ (g/ml)

En la ecuación:

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (2)$$

m = Masa (g)

v = Volumen (ml)

δ = Densidad (g/ml)

$$\eta = \frac{M_{\text{gramos aceite}}}{M_{\text{gramos hierba}}} \times 100$$

Despejando $m_{\text{gramos aceite}}$

$$m_{\text{gramos aceite}} = \frac{\eta \times m_{\text{gramos hierba}}}{100}$$

$$m_{\text{gramos aceite}} = \frac{0.8 \times m_{\text{gramos hierba}}}{100}$$

$$m_{\text{gramos aceite}} = 0.008 \times m_{\text{gramos hierba}} \quad (3)$$

Despejando la masa de la ecuación (2)

$$m = \delta \times v$$

Reemplazar ecuación (3)

$$0.008 \times m_{\text{gramos hierba}} = \delta \times v$$

$$m_{\text{gramos hierba}} = \frac{\delta \times v}{0.008}$$

Reemplazando valores de δ (densidad) y v (volumen)

$$m_{\text{gramos hierba}} = \frac{0.921 \times 10}{0.008}$$

$$m_{\text{gramos hierba}} = 1151.25 \text{ (g)}$$

$$m_{\text{gramos hierba}} = 1.15125 \text{ (kg)}$$

Para obtener un volumen de 10 (ml) de aceite esencial de Eucalipto, se requiere 1.1 (kg) de hojas de Eucalipto. Pero se trabajará con 2 (kg) de Eucalipto (hojas y ramas).

Debido a la cantidad de hojas de eucalipto se tiene las dimensiones del tanque 2:

Volumen del recipiente:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \times h$$

Datos obtenidos:

Diámetro (D) = 26 (cm)

Altura (h) = 57 (cm)

Reemplazando valores:

$$V = \frac{\pi}{4} (26 \text{ cm})^2 \times (57 \text{ cm})$$

$$V = 30262.96 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Realizando la conversión de cm^3 a litros (L):

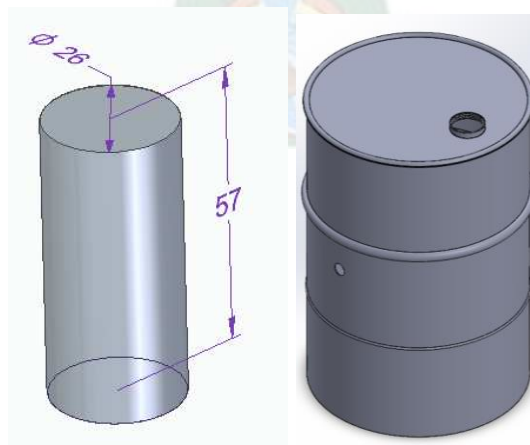
$$30262.96 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} = 30.2629 \text{ (L)}$$

Volumen del recipiente en litros:

$$V = 30.3 \text{ (L)}$$

Redondeando a un valor exacto, se trabajará con un volumen de 30 (L).

Figura 13 - Gráfico de las dimensiones del Tanque 2.



Fuente: Elaboración propia en Solid Edge y solidworks

En el tanque 2, se llena 13 L de agua y determinaremos hasta que altura se llena el tanque.

Volumen:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \times h$$

Despejamos altura:

$$h = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2}$$

Datos obtenidos:

Diámetro (D) = 36 (cm)

Volumen (V) = 13000 (cm)

Reemplazando valores:

$$h = \frac{4 \times 13000}{\pi \times (36)^2}$$

$$h = 12.77 \text{ (cm)}$$

Para obtener un volumen de 13 L de agua, se tiene que llenar agua hasta una altura de 13 cm del tanque 2.

Resistor: Se instala en la parte inferior del tanque 2 y estará en contacto directo con los 13 L de agua.

Para la selección del resistor a utilizar se tiene como dato principal el volumen de agua que se requiere es de 13 litros.

En la ecuación:

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (2)$$

m = Masa (Kg)

v = Volumen (m³)

δ = Densidad (kg/m^3)

Despejar la masa de la ec.2 y reemplazar los datos.

$$m = v \times \delta$$

$m = ?$

$$v = 13 \text{ (L)} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0.013 \text{ (m}^3\text{)}$$

$\delta = 998.6 \text{ (kg}/\text{m}^3\text{)}$

$$m = 0.013 \times 998.6$$

$$m = 12.98 \text{ (kg)}$$

$$m = 13 \text{ (kg)}$$

Se necesita saber la cantidad de calor que se requiere para que 13 kg de agua pase de una temperatura de 16 °C a 85 °C.

En la ecuación:

$$Q = m \times Ce \times (t_2 - t_1) \quad (4)$$

m = Masa (kg) = 13 (kg)

Ce = Calor específico de agua ($\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$) = 4.184 ($\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

t_2 = Temperatura ($^\circ\text{C}$) = 85 ($^\circ\text{C}$)

t_1 = Temperatura ($^\circ\text{C}$) = 16 ($^\circ\text{C}$)

$$Q = 13 \times 4.184 \times (85 - 16)$$

$$Q = 3753.05 \text{ (kJ)}$$

Como requerimiento se tiene que se necesita 3753.05 kJ en un tiempo de 30 minutos

$$Q = \frac{3753.05 \text{ KJ}}{1800 \text{ seg}}$$

$$Q = 2.08 \text{ (KW)}$$

Para que 13 litros de agua lleguen a 85°C en un tiempo de 30 min, se requiere un resistor de una potencia $\geq 2 \text{ KW}$. Se eligió un resistor de 3 KW.

En la placa del resistor se tiene los siguientes datos, se realiza el dimensionamiento de los cables para el armado del tablero eléctrico:

$$\text{Voltaje} = V = 230 \text{ (v)}$$

$$\text{Potencia} = P = 3000 \text{ (w)}$$

Se realizará los cálculos para el dimensionamiento del cable:

$$P = V \times I \quad (5)$$

Despejando la corriente (I)

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{3000 \text{ w}}{230 \text{ v}}$$

$$I = 13.04 \text{ (A)}$$

Figura 14 - Tabla AWG según el Amperaje.

Sección AWG	Sección mm^2	Corriente Amperios
20	0,5	3
18	1	7
16	1,5	10
14	2,5	15
12	4	20
10	6	30
8	10	40
6	16	55
4	25	70

Fuente: <https://estructurasdecargaelectricas.blogspot.com/2017/10/conductores-o-cables-electricos.html>

Para la conexión del resistor, se utilizará un cable de 4 mm^2 de sección transversal que tiene una capacidad de corriente hasta los 20 Amperios.

3.2.1.2 Refrigeración (Tanque 3)

En el tanque 3, se realiza la refrigeración del proceso, instalando en su interior un serpentín de cobre y se realiza un proceso cíclico de circulación de agua que va del tanque 1 al tanque 3.

Volumen del recipiente:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \times h$$

Donde:

Diámetro (D) = 27 (cm)

Altura (h) = 35 (cm)

Reemplazando valores:

$$V = \frac{\pi}{4} (27 \text{ cm})^2 \times (35 \text{ cm})$$

$$V = 20039.43 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Realizando la conversión de cm^3 a litros (L):

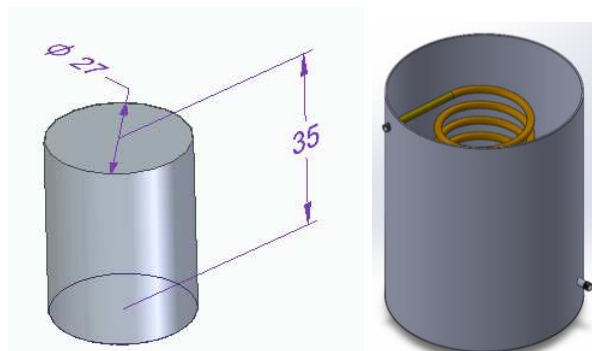
$$20039.43 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} = 20.03943 \text{ (L)}$$

Volumen del recipiente en litros:

$$V = 20 \text{ (L)}$$

El volumen del tanque 3 es de 20 L, pero solo se llena con 17 L para el proceso de refrigeración.

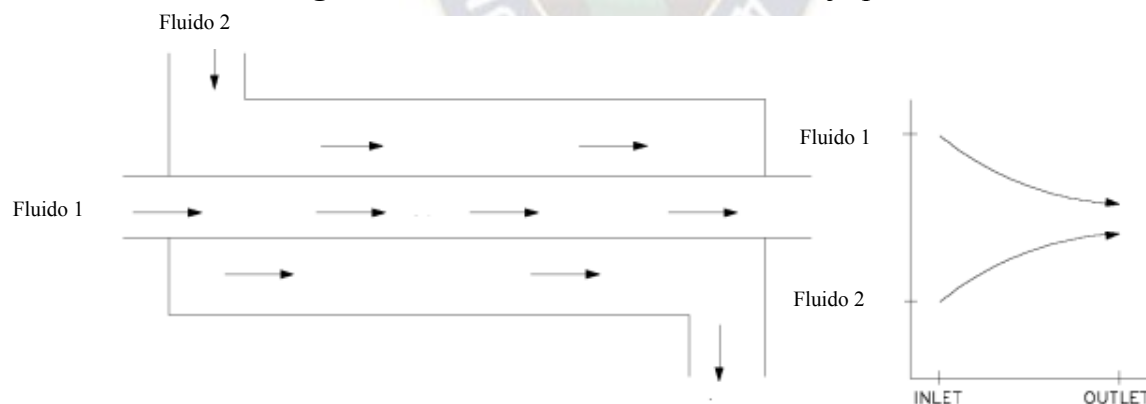
Figura 15 - Gráfico de las dimensiones del Tanque 3.



Fuente: Elaboración propia en Solid Edge y solidworks

Intercambiador de calor: Se realiza la implementación de un intercambiador de flujo paralelo, consiste en lo siguiente: Cuando los dos fluidos entran al intercambiador por el mismo extremo y ambos fluidos presentan una diferencia de temperatura significativa, el calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido con menor temperatura, alcanzando un equilibrio térmico entre ambos fluidos.

Figura 16 - Intercambiador de calor de flujo paralelo



Fuente: (Jaramillo, 2007)

Para saber que longitud de tubo de cobre de 3/8 in, se requiere en la implementación del intercambiador de calor se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = UA\Delta T_m \dots\dots\dots (6)$$

A = Área del intercambiador de calor

U = Coeficiente de transferencia de calor

ΔT_m = Coeficiente que depende del tipo de intercambiador y de las temperaturas de entrada y salida.

Se implementará un intercambiador de flujo paralelo, ΔT_m se expresa con la siguiente ecuación:

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

ΔT_1 = Diferencia de los valores iniciales de temperatura del refrigerante y el fluido a refrigerar.

ΔT_2 = Diferencia de los valores finales de temperatura del refrigerante y el fluido a refrigerar.

$$\Delta T_m = \frac{32 - 8}{\ln\left(\frac{32}{8}\right)}$$

$$\Delta T_m = 17.31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Las variables UA pueden expresarse de la siguiente manera:

$$UA = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_i b_i L} + \frac{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_e b_e L} \right]}$$

Los valores son los siguientes: R_e es el radio externo de la tubería de cobre, R_i es el radio interno de la tubería de cobre, K es el coeficiente de conductividad térmica del material, b_i y b_e son las circunferencias internas y externas de la tubería de cobre, h_e y h_i son coeficientes de transferencia de calor para el flujo externo e interno y L es la longitud del tubo de cobre flexible, despejando L se obtiene:

$$L = UA \times \left[\frac{1}{h_i b_i} + \frac{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)}{2\pi k} + \frac{1}{h_e b_e} \right]$$

Reemplazamos la variable UA de la ecuación 6:

$$L = \frac{Q}{\Delta T} \times \left[\frac{1}{h_i b_i} + \frac{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)}{2\pi k} + \frac{1}{h_e b_e} \right]$$

Reemplazamos los valores de acuerdo a las características del tubo de cobre de 3/8 in y reemplazando el valor de ΔT que se obtuvo:

$$L = \frac{196.34}{17.31} \times \left[\frac{1}{137 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * \pi * 0.00791m} + \frac{\ln\left(\frac{0.004765 \text{ mm}}{0.004360 \text{ mm}}\right)}{2 * \pi * k * 385 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + \frac{1}{137 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * \pi * 0.00953m} \right]$$

$$L = 6.09 \text{ m}$$

Se requiere 6 metros de tubo de cobre de 3/8 in para el intercambiador de calor.

Figura 17 - Serpentin de cobre de 8 espiras



Fuente: Elaboración propia

Bomba de agua: Se requiere dimensionar la sección transversal del cable para realizar su conexión, con los siguientes datos:

Voltaje = $V = 230 \text{ (v)}$

Potencia = $P = 1 \text{ hp} = 746 \text{ (w)}$

$$P = V \times I$$

Despejando la corriente (I)

$$I = \frac{P}{V}$$

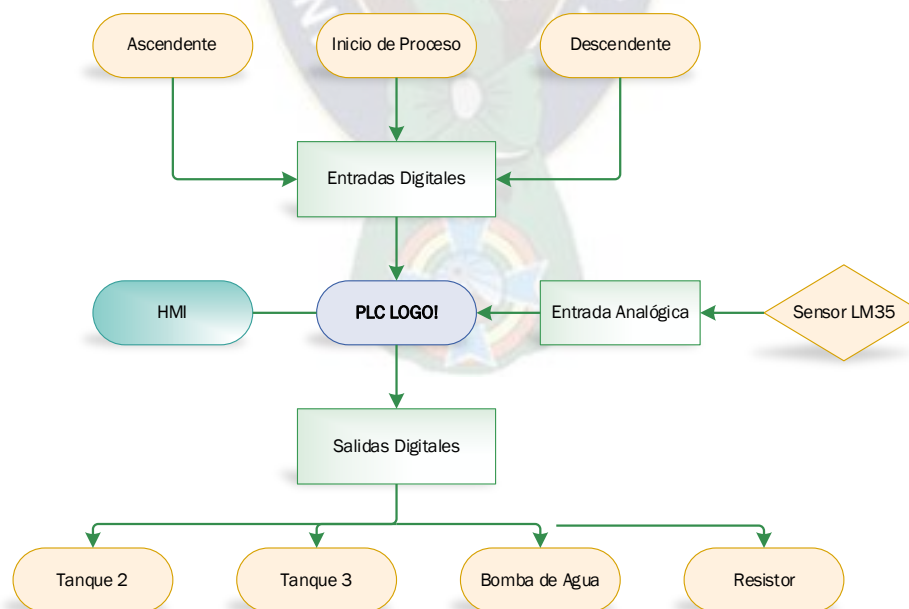
$$I = \frac{746 \text{ w}}{230 \text{ v}}$$

$$I = 3.24 \text{ (A)}$$

Se utilizará un cable de 1.5 mm^2 de sección transversal que tiene una capacidad de corriente hasta los 10 Amperios.

3.2.1.3 Diseño Eléctrico y Electrónico

Figura 18 - Diagrama de bloques del proceso.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 - Entradas analógicas, digitales y salidas digitales.

ENTRADAS DIGITALES				
Símbolo	Descripción	PLC	Contacto	Voltaje
S1	Inicio de Proceso	I2	N.A.	24 VDC
S2	T. Ascendente	I3	N.A.	24 VDC
S3	Descendente	I4	N.A.	24 VDC
ENTRADAS ANALÓGICAS				
Símbolo	Descripción	PLC	Voltaje	
A1	Sensor LM35	A1	0 - 10 VDC	
SALIDAS DIGITALES				
Símbolo	Descripción	PLC	Contacto	Voltaje
K1	Bomba de Agua	Q1	Relé	24 VDC
K2	Electroválvula	Q2	Relé	24 VDC
K3	Electroválvula	Q3	Relé	24 VDC
K4	Resistor	Q4	SSR	12 VDC

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.4 PLC (Controlador Lógico Programable) LOGO! 12/24RCEo

De acuerdo a la tabla 4, principalmente se requiere 4 salidas digitales y una entrada analógica, por lo cual se realiza la implementación con un PLC LOGO! 12/24RCEo modelo 6ED1 052-2MD08-0BA0, y presenta las siguientes características:



Figura 19 - Controlador programador lógico *PLC 6ED1 052-2MD08-0BA0*

Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED1052-2MD08-0BA1>

El PLC LOGO! 052-2MD08-0BA0, cuenta con 8 entradas digitales de las cuales las entradas (I1,I2,I7,I8 = AI3,AI4,AI1,AI2) son entradas lógicas. Sin display, memoria de 400 bloques, posibilidad de ampliación modular, Ethernet, servidor web integrado, Datalog, páginas web personalizadas, tarjeta microSD estándar para LOGO Soft Comfort a partir de la versión V8.3.

Tabla 5 - Características de PLC LOGO! 052-2MD08-0BA0

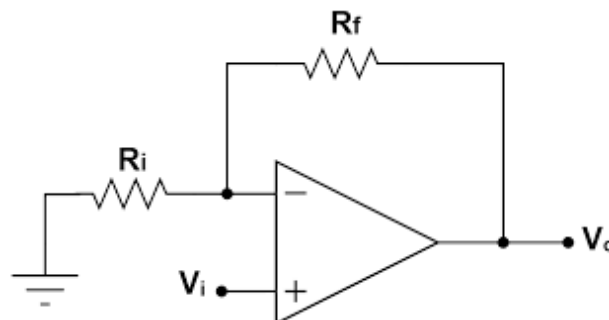
Tensión de Alimentación	
12 V DC	Sí
24 V DC	Sí
Rango permitido, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango permitido, límite superior (DC)	28,8 V
Entradas Digitales	
Número de entradas digitales	8; de los cuales 4 pueden utilizar en modo analógico (0 a 10 V)
Salidas Digitales	
Número de salidas digitales	4; Salida a Relé
Protección contra cortocircuitos	No; Necesario fusible externo
Corriente de Salida	10 A; Rango permitido de 0 a 55 °C
Salidas a Relé	Con carga inductiva, máx. 3A Con carga resistiva, máx. 10 A
Grado y Clase de Protección	
Grado de protección según EN 60529	IP20

Fuente: Modificado de: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED10522MD080BA0>

- **Tensión de alimentación** Generalmente se alimenta con una tensión de alimentación en el rango de 4V a 30V DC.
- **Salida de voltaje** La salida del LM35 es directamente proporcional a la temperatura en grados Celsius y varía en 10 mV por cada grado Celsius. Por ejemplo, si la temperatura es de 25°C, la salida sería de 250 mV.
- **Fácil interfaz** La conexión del LM35 es simple, ya que solo necesita tres conexiones: alimentación, tierra y la salida.
- **Aplicaciones** Debido a su precisión y facilidad de uso, el LM35 se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, como sistemas de control de temperatura, equipos médicos, sistemas de monitorización, control de climatización, sistemas de seguridad, entre otros.
- **Tamaño compacto** El LM35 es un componente pequeño y compacto, lo que facilita su integración en diferentes diseños y aplicaciones.
- **Protección contra sobrecarga** Algunos modelos de LM35 incluyen características de protección, como resistencia a sobrecargas eléctricas, para garantizar la durabilidad del sensor.

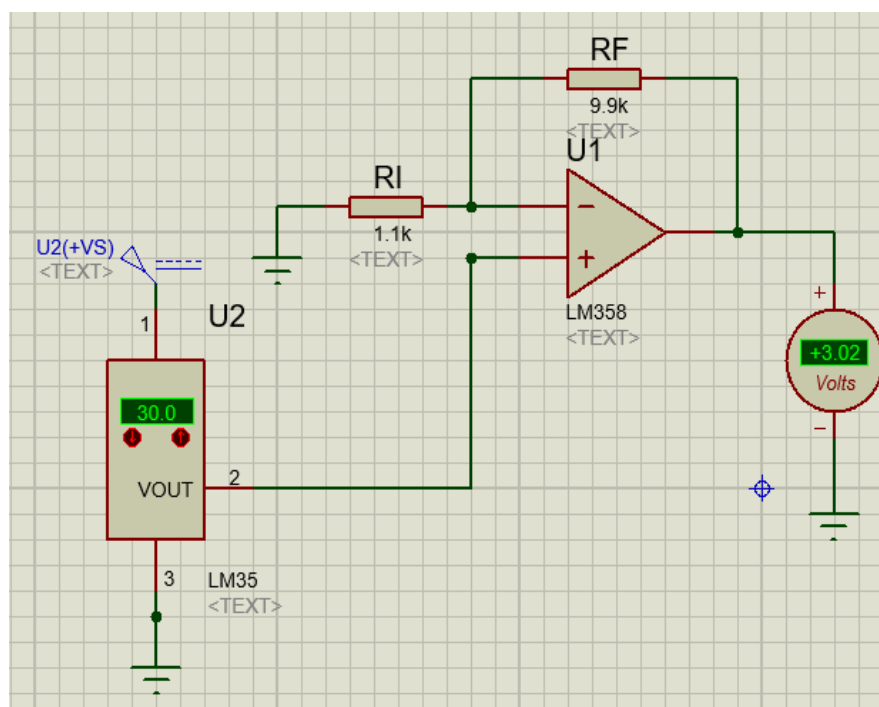
Circuito acondicionador para LM35: El circuito amplifica la señal de $0.01 \text{ V} = 1^\circ\text{C}$ a $0.1 \text{ V} = 1^\circ\text{C}$ para que esa señal se pueda percibir en el PLC.

Figura 21 - Amplificador No Inversor.



Fuente: http://solucioningenieril.com/amplificadores_operacionales/amplificador_no_inversor

Figura 23 - Simulación de *Amplificador No Inversor*.



Temperatura (°C)	Voltaje (V)
1	0,11
2	0,21
3	0,31
4	0,41
5	0,51
10	1,01
11	1,11
12	1,21
13	1,31
14	1,41
15	1,51
20	2,02
30	3,02
40	4,02
50	5,02

Fuente: Realizado en Proteus 8 Profesional

3.3 Proceso Eléctrico Electrónico

3.3.1 Funcionamiento del tablero de control

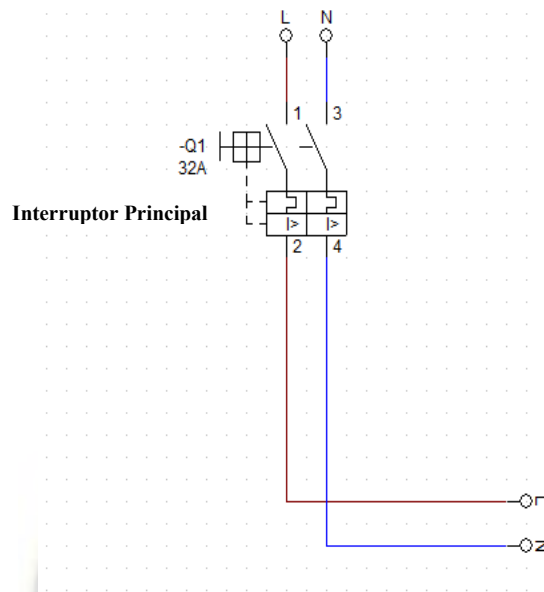
Para la selección del interruptor termomagnético principal del tablero, se realizó un análisis de los actuadores que se utilizara, y su consumo de corriente para cada actuador. Se obtiene una carga total de 20.2 A pero se eligió un interruptor termomagnético de 32 A por seguridad.

Tabla 6 - Carga total de los actuadores

Actuador	Carga
Bomba de agua	5,2 A
Electroválvula 1	1 A
Electroválvula 2	1 A
Resistor de calefón	13 A
TOTAL	20,2 A

Fuente: Elaboración propia.

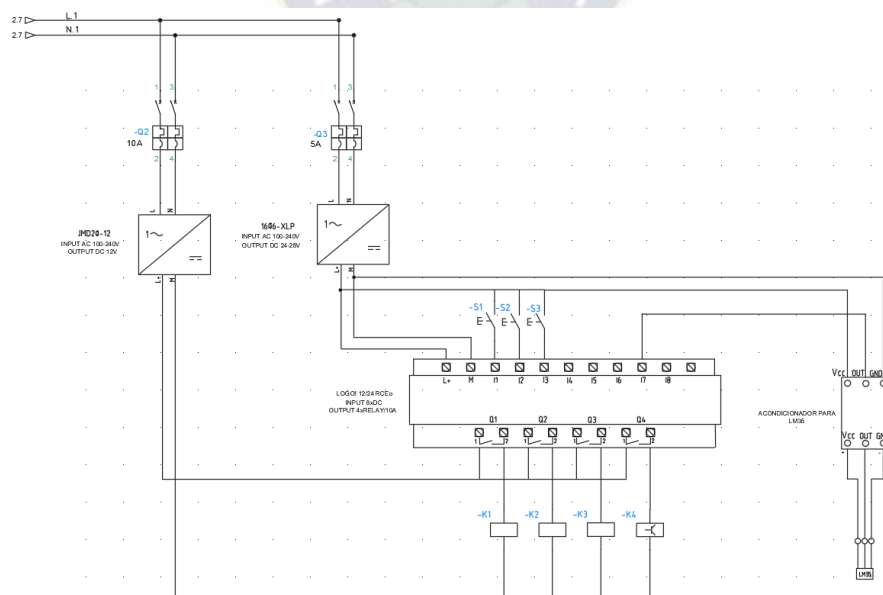
Figura 24 - Disyuntor principal de 32A.



Fuente: Elaborado en AutoCAD Electrical 2018.

Para el circuito de control se tiene que tener definido las entradas y salidas que se utilizara en el PLC.

Figura 25 - Circuito de control.



Fuente: Elaborado en AutoCAD Electrical 2018.

A continuación, se diseña el tablero para el circuito de control. Se tiene cuatro indicadores que se encienden cada vez que entra en funcionamiento cada actuador (Q1, Q2, Q3) y también se tiene tres entradas digitales (I1, I2, I3) uno para iniciar el proceso de funcionamiento y las otras dos entradas es para incrementar o decrecer el valor de la temperatura.

Figura 26 - Tablero de control del proceso



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1 Fuente de Alimentación Conmutada 1606-XLP

Principalmente para el funcionamiento del PLC LOGO se utiliza la fuente 1606-XLP y se presenta sus principales características:

Figura 27 - Fuentes de alimentación compactas de modo conmutado.



Voltaje de entrada	Monofásico 120/240
Voltaje de salida	24 VCD
Corriente	2.1 A
Terminales	Tornillo y resorte

Fuente: catálogo de rockwellautomation [1]

- **Diseño compacto:** Como su nombre lo indica, las fuentes de alimentación 1606-XLP son conocidas por su diseño compacto, lo que permite una fácil integración en espacios reducidos en paneles de control y sistemas.
- **Rango de potencia:** Las fuentes de alimentación de la serie 1606-XLP están disponibles en varios rangos de potencia para satisfacer diferentes requisitos de carga, que pueden variar desde aplicaciones ligeras hasta aplicaciones de mayor demanda.
- **Eficiencia energética:** Estas fuentes de alimentación utilizan tecnología conmutada para lograr una alta eficiencia energética. Esto significa que convierten la energía de entrada en la forma necesaria para la carga con mínimas pérdidas de energía.
- **Amplio rango de entrada:** Las fuentes de alimentación de esta serie generalmente admiten un amplio rango de voltaje de entrada, lo que les permite operar en diferentes regiones o en sistemas con fluctuaciones de voltaje.

- **Protecciones:** Suelen incorporar protecciones integradas para prevenir daños en caso de cortocircuitos, sobrecarga, sobretensión y sobrecalentamiento. Estas características de seguridad son esenciales en entornos industriales.
- **Diseño robusto:** Están construidas con componentes de alta calidad y un diseño robusto para soportar condiciones ambientales adversas, como vibraciones, golpes y temperaturas extremas.
- **Indicadores LED:** Muchos modelos de fuentes de alimentación 1606-XLP cuentan con indicadores LED que muestran el estado de funcionamiento, permitiendo una fácil monitorización visual.

3.3.1.2 Fuente de Alimentación Conmutada JMD20-12

Se eligió esta fuente porque las electroválvulas que se utilizara es de 1 A cada una y esta fuente es suficiente para el funcionamiento de las electroválvulas.

Figura 28 - Fuente de alimentación conmutado *JMD20-12*.



Voltaje de entrada	Monofásico 120/240
Voltaje de salida	12 VCD
Corriente	2A
Terminales	Tornillo

Fuente: Catálogo de rockwellautomation [1]

3.3.1.3 RELÉ 700-HLT1Z DE ALLEN BRADLEY

Se utiliza en las salidas del PLC, para activar las electroválvulas y la bomba de agua.

operadores a identificar correctamente el equipo y a realizar mantenimiento de manera eficiente.

- **Diseño estándar** El zócalo TBR24 Ser. A probablemente siga un diseño estándar de la industria en términos de dimensiones y disposición de los terminales. Esto facilita su integración en sistemas existentes y su reemplazo en caso de ser necesario.
- **Características adicionales** Algunos zócalos pueden incluir características adicionales como protección contra inversión de polaridad o diseño a prueba de vibraciones para asegurar la confiabilidad del sistema.

3.3.1.4 Relé de Estado Sólido: El SSR-40DA

Es un relé de estado sólido (Solid State Relay, SSR) que convierte una señal de control de corriente continua (DC) en un control de corriente alterna (AC) se utiliza en una salida del PLC para el control del resistor del calefón. Aquí tienes algunas características del dispositivo:

Figura 30 - SSR-40 DA relevador de estado sólido DC-AC 40 A.



Entrada de control	Corriente directa (DC)
Tipo de conmutación	Corriente alterna (AC)
Voltaje de activación	3 – 32 VDC
Voltaje de conmutación	24 – 380 VAC
Baja corriente de activación	15 mA @ 12V
Máxima corriente de carga	40 A

Fuente: Catálogo de geekfactory [4]

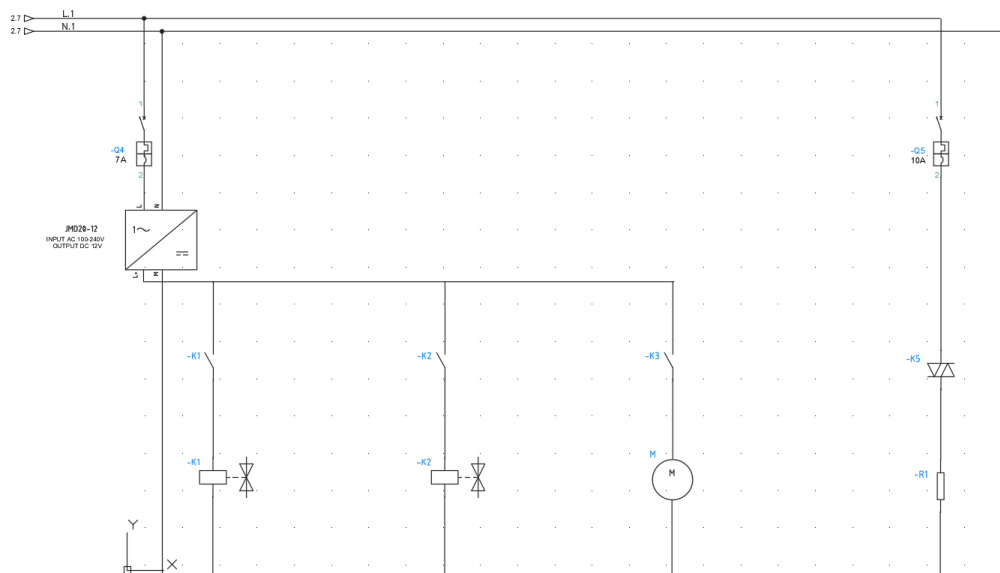
- **Corriente nominal** El SSR-40DA está diseñado para manejar una corriente nominal de hasta 40 amperios en la salida de corriente alterna (AC). Esto lo hace adecuado para aplicaciones que requieren un alto nivel de potencia.

- **Voltaje de control** Se activa mediante una señal de control de corriente continua (DC). La mayoría de los SSRs funcionan con una amplia gama de tensiones de control DC, por lo que sería importante verificar la tensión específica que requiere el SSR-40DA.
- **Voltaje de carga** El SSR-40DA está diseñado para trabajar con cargas de corriente alterna (AC), generalmente en un rango de voltaje especificado, que puede ser desde 24 VAC hasta 380 VAC o más. Es crucial asegurarse de que la tensión de la carga esté dentro de las especificaciones del SSR.
- **Tipo de carga** Puede controlar cargas resistivas, inductivas y capacitivas en aplicaciones como sistemas de calefacción, iluminación, motores, equipos industriales, etc.
- **Tipo de salida** El SSR-40DA tiene una salida de estado sólido, lo que significa que no tiene partes móviles. En lugar de usar contactos mecánicos como los relés electromecánicos tradicionales, utiliza componentes semiconductores (generalmente tiristores o triacs) para controlar la corriente alterna.
- **Aislamiento galvánico** Los SSRs suelen ofrecer un alto grado de aislamiento galvánico entre la entrada de control y la salida de carga. Esto ayuda a proteger los circuitos de control de corriente continua de posibles interferencias o sobretensiones en la carga de corriente alterna.
- **Tiempo de respuesta** Los SSRs suelen tener tiempos de conmutación más rápidos en comparación con los relés electromecánicos. Esto puede ser ventajoso en aplicaciones donde se requiere una conmutación precisa y rápida.

3.3.2 Circuito de potencia

Para el circuito de potencia se realiza se presenta los siguientes detalles:

Figura 31 - Circuito de Potencia.



Fuente: Elaborado en AutoCAD Electrical 2018.

3.3.2.1 Electroválvula

Es un dispositivo electromecánico diseñado para controlar el flujo de fluidos, generalmente líquidos o gases, mediante el uso de una señal eléctrica de 12 voltios. Estas válvulas son utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones industriales, automotrices, agrícolas y domésticas. Aquí tienes algunas características clave de una electroválvula de 12 voltios:

Figura 32 – Electroválvula solenoide de 12 voltios



Rango de temperatura	0-90°C
Voltaje de operación	12 VDC
Presión de trabajo	0.02-0.8 Mpa
Corriente máxima	0,5 A

Fuente: Catálogo de punto flotante S.A.

- **Voltaje de operación** Una de las características más distintivas es que opera con una señal eléctrica de 12 voltios. Esto permite una fácil integración en sistemas que ya utilizan esta tensión, como en automóviles o sistemas de batería.
- **Control electromecánico** La válvula utiliza una combinación de componentes electromagnéticos y mecánicos para controlar el flujo del fluido. Cuando se aplica el voltaje adecuado, el solenoide o bobina electromagnética genera un campo magnético que mueve una pieza móvil (normalmente un émbolo o una membrana), abriendo o cerrando el paso del fluido.
- **Conexiones eléctricas** Las electroválvulas de 12 voltios generalmente tienen dos terminales para la conexión eléctrica. Se aplica la tensión eléctrica a través de estos terminales para activar el solenoide y controlar la operación de la válvula.
- **Tipos de fluido** Estas válvulas pueden utilizarse para controlar diferentes tipos de fluidos, como agua, aire, aceite, gas, vapor, entre otros, dependiendo del diseño y los materiales de construcción de la válvula.
- **Aplicaciones variadas** Debido a su versatilidad y tamaño compacto, las electroválvulas de 12 voltios se encuentran en una amplia gama de aplicaciones. Por ejemplo, pueden utilizarse

en sistemas de riego automático, sistemas de enfriamiento y calefacción, sistemas de control de aire acondicionado, control de fluidos en vehículos, equipos médicos, sistemas de control industrial y más.

- **Normalmente cerrada o normalmente abierta** Las electroválvulas pueden ser de tipo "normalmente cerrada" o "normalmente abierta". En las válvulas normalmente cerradas, la válvula está cerrada cuando no se aplica voltaje y se abre cuando se activa la bobina. En las válvulas normalmente abiertas, sucede lo contrario: la válvula está abierta en reposo y se cierra cuando se aplica el voltaje.
- **Compatibilidad con otros sistemas** Es importante asegurarse de que la electroválvula de 12 voltios sea compatible con los otros componentes y sistemas con los que se integrará. Esto incluye considerar el caudal de fluido, la presión de operación, la temperatura y la compatibilidad química con los materiales que manejará.

3.3.2.2 Bomba Periférica Pentax

La bomba periférica Pentax PM80 es un dispositivo utilizado para el bombeo de agua en aplicaciones domésticas y comerciales. a continuación, se proporcionó algunas características típicas de la bomba periférica Pentax P80 con una potencia de 1HP (caballo de fuerza):

Figura 33 -Bomba periferia Pentax 1HP



Potencia	1 HP 746 watts
Voltaje	220 voltios
Corriente	5.2 amp
Altura máxima	65 metros
Caudal	50 l/m

- **Potencia** La bomba tiene una potencia de 1HP, lo que equivale a aproximadamente 0.75 kW. Esta potencia es adecuada para aplicaciones que requieren un flujo moderado de agua.
- **Tipo de bomba** Se trata de una bomba periférica, que es un tipo de bomba centrífuga que se utiliza principalmente para aplicaciones de baja capacidad y presión moderada.
- **Aplicación** Estas bombas suelen ser utilizadas para el suministro de agua en sistemas de abastecimiento doméstico, riego de jardines, llenado de tanques, entre otras aplicaciones en las que se requiere un flujo constante de agua.
- **Caudal** El caudal o flujo de agua que puede generar la bomba depende de varios factores, como la altura de bombeo y la presión. Sin embargo, una bomba de 1HP generalmente puede manejar un flujo moderado.
- **Altura de bombeo** La altura de bombeo se refiere a la altura vertical máxima a la que la bomba puede elevar el agua. Esto depende de la presión y la potencia de la bomba.
- **Conexiones** La bomba puede tener conexiones para tuberías de entrada y salida. Es importante asegurarse de que las conexiones sean adecuadas para la tubería utilizada en tu sistema.
- **Material de construcción** Las partes principales de la bomba suelen estar hechas de materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o materiales plásticos, para garantizar la durabilidad y la vida útil de la bomba.
- **Arranque automático** Algunos modelos de bombas periféricas pueden incluir un sistema de arranque automático para activar la bomba cuando se detecta una demanda de agua y detenerla cuando no es necesario.
- **Seguridad** Puede contar con protecciones integradas para evitar daños en caso de sobrecarga, sobrecalentamiento u otras condiciones anormales de funcionamiento.

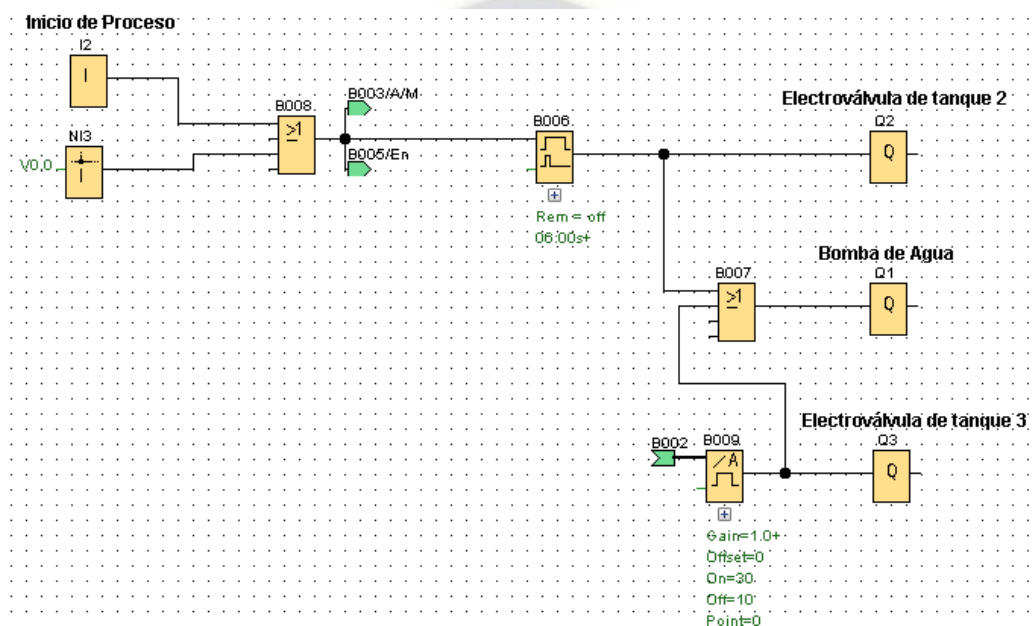
3.3.3 Programación de PLC en LOGO Soft Confort

La programación del LOGO 12/24RCEo, modelo 6ED1 052-2MD08-08AO se realiza en LOGO! Soft Confort V8.3

I2: Interruptor de inicio de proceso, normalmente abierto (NA)

Q1, Q2 ,Q3: Salidas a relé de PLC LOGO 12/24RCEo

Figura 34 - Diagrama en bloques del inicio de proceso.



Fuente: Realizado en LOGO Soft Confort V8.3

Bloque B007: Es una función OR que adopta el estado de 1 si por lo menos una entrada tiene el estado de 1. La entrada I2 es una entrada física que se tiene en el tablero y la entrada V0.0 es una entrada virtual con la que también se puede contralar mediante una interfaz gráfica.

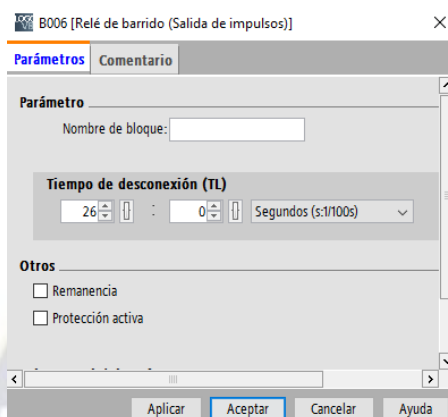
Tabla 7 - Tabla de la función OR bloque B007.

Entrada B006	Entrada B009	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Bloque B006 (Salida de Impulsos): La entrada I2 o V0.0 generan una señal de 26 segundos de duración, por la cual se habilita las salidas Q1 y Q2 simultáneamente.

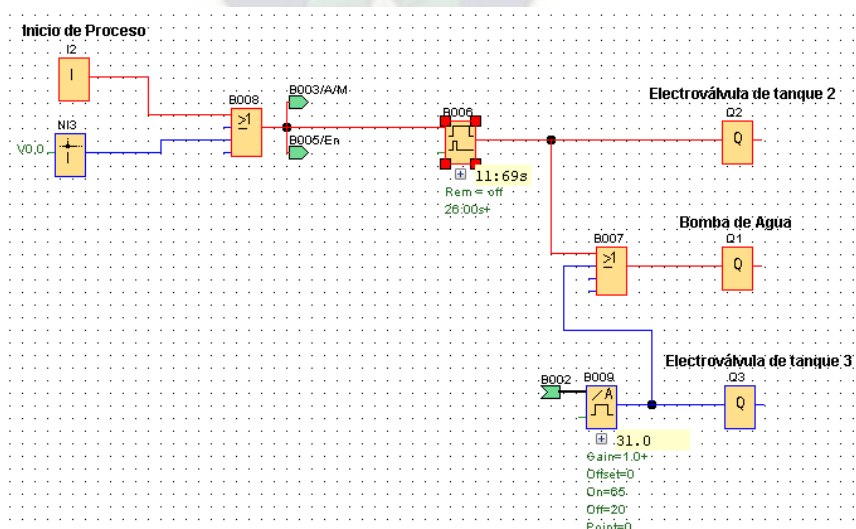
Figura 35 - Salida de Impulsos Bloque B006



Fuente: Elaboración propia

Cuando se pulsa el interruptor I2, activa un bloque B006 que genera una señal de pulso de 26 segundos que activa las salidas Q1 y Q2 que está conectado a la bomba de agua y a la electroválvula del tanque 2 respectivamente.

Figura 36 - Simulación de la primera etapa del proceso



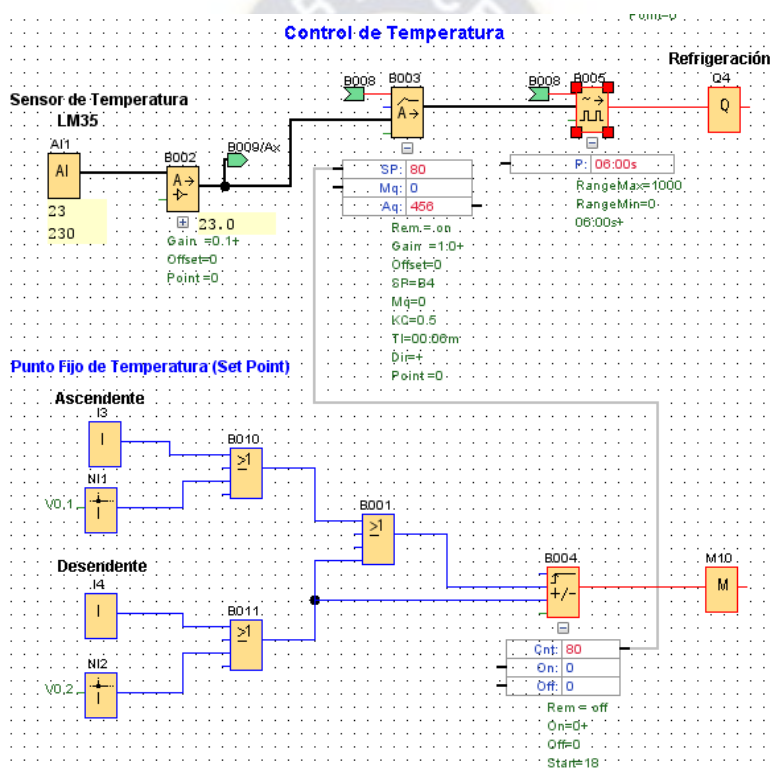
Fuente: Elaboración propia

Después que se realiza el inicio del proceso, se establece un punto fijo para la temperatura (Set Point) con las entradas I3 y I4 ya sea para incrementar el valor o disminuir mediante un botón pulsador

I3, I4: Pulsador, contacto normalmente abierto (NA)

El valor de 80 °C, que se acumula en el contador B004 se almacena también en el bloque regulador PI que es B003.

Figura 37 - Diagrama en bloques de Punto fijo de temperatura y Control de temperatura.



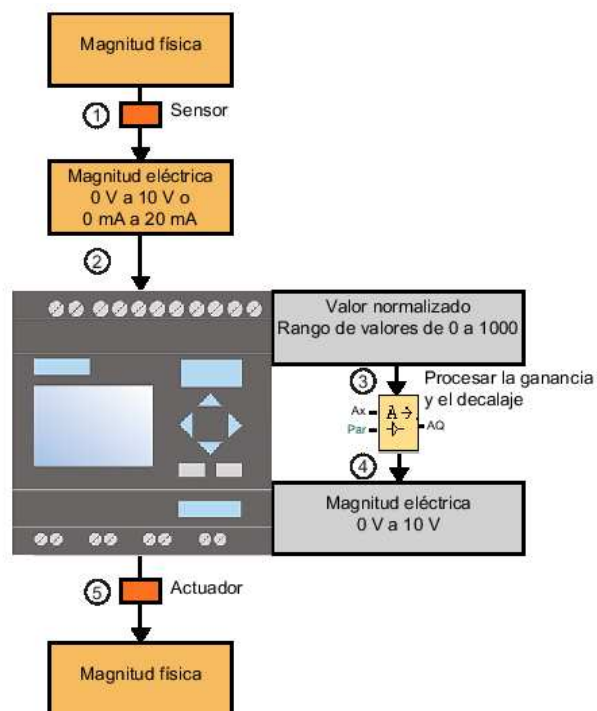
Fuente: Realizado en LOGO Soft Confort V8.3

Bloques B010, B011, B001: Es una función OR que adopta el estado de 1 si por lo menos una entrada tiene el estado de 1.

Bloque B004: Es un Contador adelante/atrás. Un impulso de entrada incrementa o decrementa un valor de contaje interno. El contador presenta un valor inicial de 18.

Bloque AI1(Entrada Analógica): Se utiliza un sensor de temperatura LM35.

Figura 38 - Proceso básico para una señal analógica.

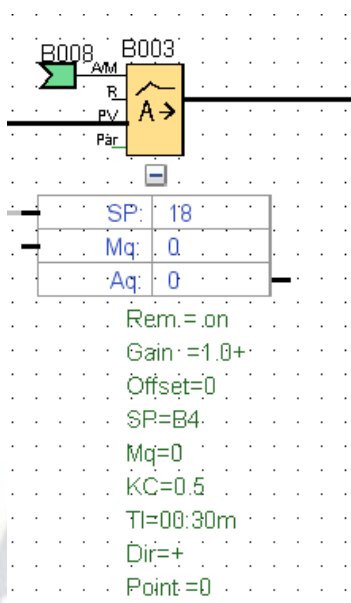


Fuente: LOGO! Soft Confort V8.3

En la entrada AI1 está conectado el acondicionador del sensor de temperatura LM35, donde hay una variación de tensión de 0 a 10 VDC. Esos valores el PLC lo convierte en un valor normalizado de 0 a 1000, para poder adaptar el valor normalizado a la aplicación calcula el valor analógico a partir del valor normalizado, obteniendo una magnitud eléctrica de 0 a 10 V. La salida del bloque de amplificador analógico se conecta al bloque regulador PI.

Bloque B003 (PI): Es un bloque de acción proporcional e integral PI. El parámetro SP es el valor que se obtiene mediante el contador (B004)

Figura 39 - Diagrama en bloque del PI.

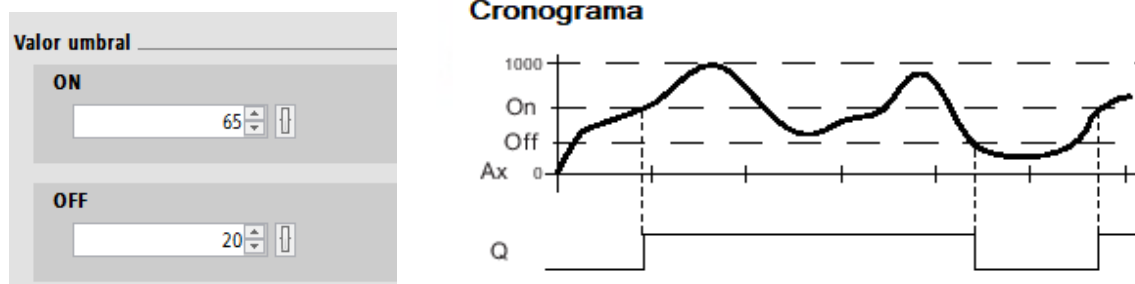


Fuente: Realizado en LOGO Soft Confort V8.3

Bloque B005 (Modulación de ancho de pulso PWM): Modula el valor de la entrada analógica del bloque B003, a una señal de pulso digital, activando o desactivando la salida Q4.

Bloque B009: La salida se activa o desactiva en base a dos valores configurables. La salida Q3 se activa cuando la temperatura alcanza un valor de 65 °C y se desactiva cuando el valor desciende hasta 20 °C.

Figura 40 - Características del bloque B009.



Fuente: LOGO! Soft Confort V8.3

3.3.4 Configuración de PLC LOGO! con LOGO! Web Editor

La configuración de un PLC LOGO utilizando LOGO Web Editor implica el uso de una interfaz web para programar y supervisar tu dispositivo LOGO. ¡Asegúrate de que tu dispositivo LOGO tenga una interfaz web y que esté conectado a una red que permita el acceso a través de un navegador web.

Figura – Conexión computadora PLC mediante un router.



Fuente: Elaboración propia

- **Conexión y acceso:** El PLC LOGO! Tiene que estar conectado a la red y tener acceso a la dirección IP. Esto suele requerir que el PLC LOGO! esté conectado a una red Ethernet o se requiere un módulo de comunicación compatible.
- **Acceso a LOGO! Web Editor:** Abre un navegador web y escribe la dirección IP del PLC LOGO! en la barra de direcciones. Debes agregar el número de puerto específico para el LOGO! Web Editor al final de la dirección IP (**http://192.168.0.3**).
- **Inicio de sesión** Inicia sesión en LOGO! Web Editor utilizando las credenciales predeterminadas o las que hayas configurado previamente. Si es la primera vez que accedes, es posible que debas configurar un nombre de usuario y una contraseña.

3.3.5 Programación en LOGO! Web Editor

Es una herramienta que ayuda a personalizar páginas web y ver visualmente el funcionamiento de un proyecto a través del servidor web.

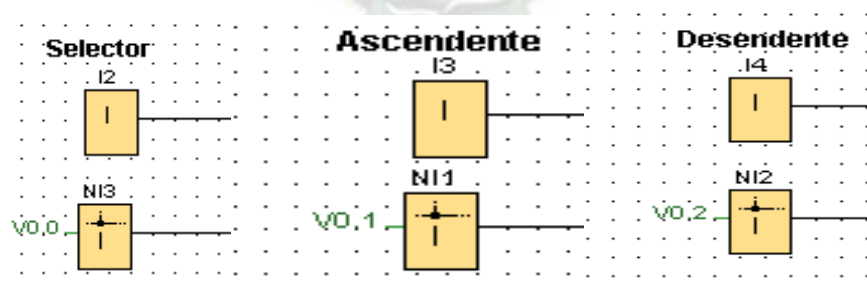
Para realizar la programación en la interfaz grafica de LOGO! Web Editor, en el programa de LOGO! Soft Confort, se utiliza entradas de red que se relacionan con la interfaz gráfica.

Tabla 8 - Entradas analógicas, digitales, red y salidas digitales.

ENTRADAS DIGITALES				
Símbolo	Descripción	PLC	ENTRADA DE RED	Contacto
S1	Inicio de Proceso	I2	V0.0	N.A.
S2	T. Ascendente	I3	V0.1	N.A.
S3	Descendente	I4	V0.2	N.A.
ENTRADAS ANALÓGICAS				
Símbolo	Descripción	PLC	ENTRADA DE RED	Voltaje
A1	Sensor LM35	AI1	VM14	0 - 10 VDC
SALIDAS DIGITALES				
Símbolo	Descripción	PLC	SALIDA DE RED	Contacto
K1	Bomba de Agua	Q1	Q1	Relé
K2	Electroválvula	Q2	Q2	Relé
K3	Electroválvula	Q3	Q3	Relé
K4	Resistor	Q4	Q4	SSR

Fuente: Elaboración propia

Figura 41 -Entradas del PLC y entradas de Red.



Fuente: Realizado en LOGO! Soft Confort V8.3

Se realiza la configuración de parámetros para las entradas de red.

Figura 42 -Parámetros de la entrada de red.

Parámetros Comentario

Parámetro: _____

Leer valor de

Memoria variable local (VM)
 Dispositivo remoto
 Diagnóstico

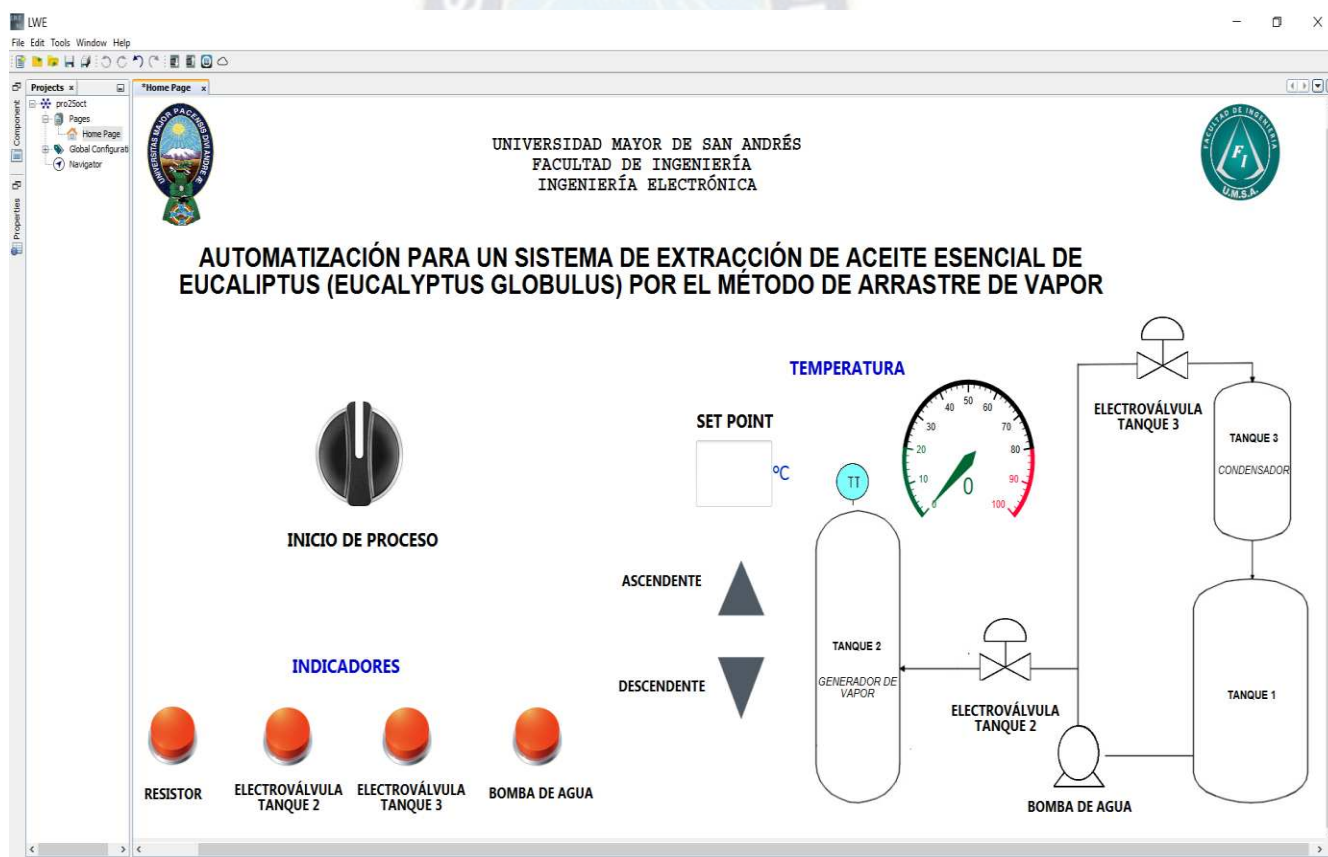
Memoria variable local (VM)

Dirección VB:

Bit:

Fuente: LOGO! Soft Confort V8.3

Figura 43 - Interfaz gráfica de proceso.



Fuente: Realizado LOGO Web Editor V1.1.0

3.4 DISEÑO DEL CONTROLADOR:

Se realizó la adquisición de datos de la temperatura mediante el programa en el PLC

Tabla 9 - Temperatura y BITS.

Time	T (°C)	bits
2023-10-11 15:36:13	24	241
2023-10-11 15:37:13	24	242
2023-10-11 15:38:13	24	243
2023-10-11 15:39:13	25	245
2023-10-11 15:40:13	26	261
2023-10-11 15:41:13	29	290
2023-10-11 15:42:13	34	335
2023-10-11 15:43:13	39	390
2023-10-11 15:44:13	45	446
2023-10-11 15:45:13	50	503
2023-10-11 15:46:13	55	552
2023-10-11 15:47:13	58	584
2023-10-11 15:48:13	61	607
2023-10-11 15:49:13	62	622
2023-10-11 15:50:13	64	635
2023-10-11 15:51:13	64	643
2023-10-11 15:52:13	71	709
2023-10-11 15:53:13	76	762
2023-10-11 15:54:13	77	774
2023-10-11 15:55:13	78	781
2023-10-11 15:56:13	78	781
2023-10-11 15:57:13	78	783
2023-10-11 15:58:13	78	783
2023-10-11 15:59:13	78	779
2023-10-11 16:00:13	78	784
2023-10-11 16:01:13	78	784
2023-10-11 16:02:13	78	783
2023-10-11 16:03:13	78	781
2023-10-11 16:04:13	78	780
2023-10-11 16:05:13	78	780
2023-10-11 16:06:13	78	781
2023-10-11 16:07:13	78	781
2023-10-11 16:08:13	78	783
2023-10-11 16:09:13	78	782
2023-10-11 16:10:13	78	783
2023-10-11 16:11:13	79	786
2023-10-11 16:12:13	78	784

2023-10-11 16:13:13	78	782
2023-10-11 16:14:13	78	780
2023-10-11 16:15:13	79	785
2023-10-11 16:16:13	78	780
2023-10-11 16:17:14	78	783

Fuente: Elaboración propia

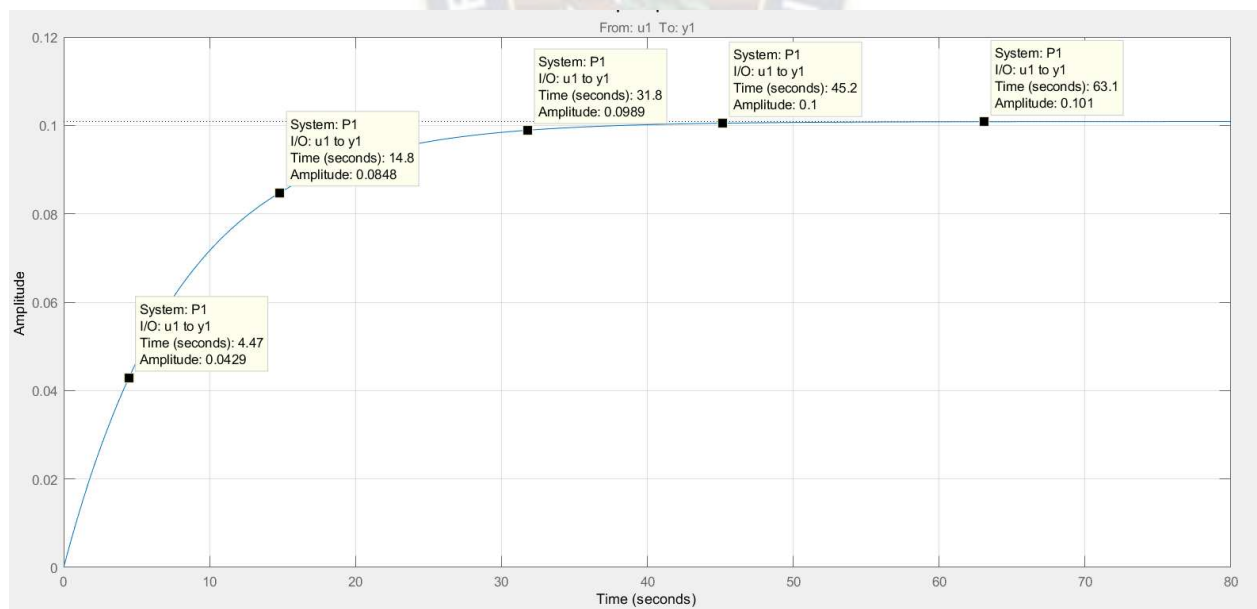
Tenemos la función de transferencia de la planta con ayuda de MatLab

$$\text{funcion de transferencia} = \frac{0.1009}{8.069s + 1}$$

3.4.1 Respuesta temporal.

Para realizar su análisis, observamos que nuestro sistema es de segundo orden, un sistema de segundo orden se caracteriza por poseer dos polos en su función de transferencia.

Figura 44 - Grafica Step de la función de transferencia de la planta.



Fuente: Elaboración propia en MatLab

Tiempo de retardo (t_d):

$$t_d = 4.47 \text{ s}$$

Tiempo de crecimiento (t_r):

$$t_r = 14.8 \text{ s}$$

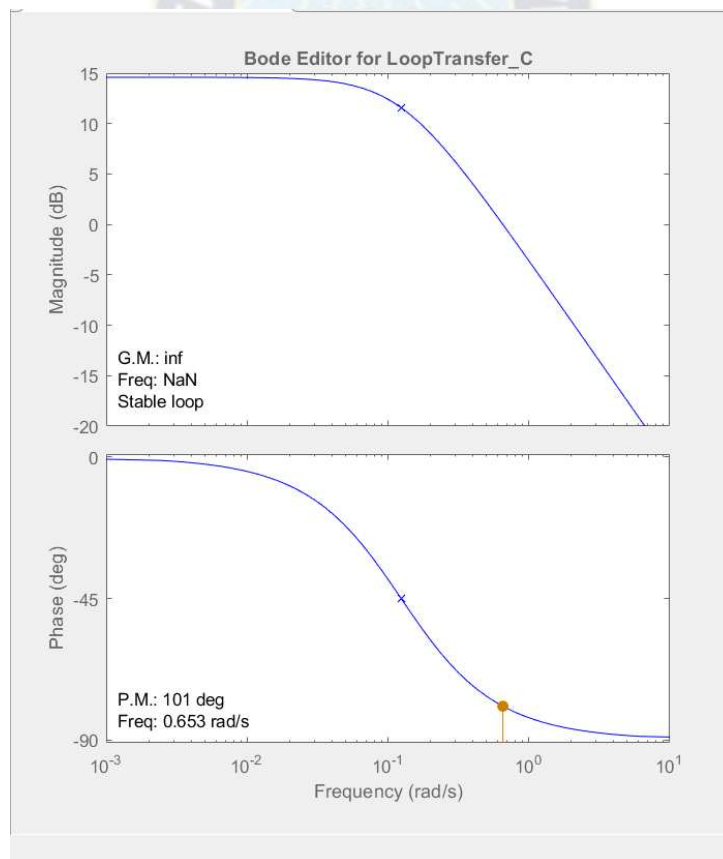
Tiempo de pico (t_p):

$$t_p = 31.8 \text{ s}$$

Tiempo de establecimiento (t_s):

$$t_s = 45.2 \text{ s}$$

Figura 45 - Grafica SISOTOOLS de la función de transferencia de la planta.



Fuente: Elaboración propia en MatLab

Margen de ganancia inf

Margen de Fase 101 deg

El sistema es estable.

3.4.2 Especificaciones de desempeño

Las especificaciones de desempeño que se requeriría para el funcionamiento del sistema en los siguientes laboratorios.

Los criterios de diseño son los siguientes:

- ✓ Máximo sobreimpulso menor al 15%.
- ✓ Tiempo de asentamiento 14.8 segundos.

Con un sistema de orden superior, un enfoque es colocar los polos de orden superior 5-10 veces más hacia la izquierda en el plano complejo que los polos dominantes, lo que los lleva a tener una contribución insignificante a la respuesta transitoria. El efecto de los ceros es más difícil de abordar utilizando un enfoque de posición de polos para controlar. Otra limitación de este enfoque de colocación de polos es que no tiene en cuenta explícitamente otros factores como la cantidad de esfuerzo de control requerido.

3.4.3 Tratamiento de las especificaciones de desempeño.

También debemos de asegurar que los polos diseñados estén en el semiplano izquierdo para que el sistema sea estable.

Tomamos las siguientes consideraciones.

- Tiempo de establecimiento: 15s
- Criterio del: 5% (tiempo de establecimiento)
- Porcentaje de establecimiento del 10%

Para tiempo continuo

$$\xi = \frac{\ln(Mp)^2}{\sqrt{\ln(Mp)^2 + \pi^2}} = 0.612$$

$$\omega_n = \frac{4}{\xi * ts} = 0.062 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El polinomio deseado será

$$P(s) = s^2 + 0.5331s + 1$$

Del polinomio encontramos los polos

$$s_{1,2} = -0.609 \pm 0.787i$$

Queremos que el sistema pase por esos polos

Para discreto.

$$n_s = 6 = \frac{\pi}{\sigma}$$

$$M_p = 10\% = 100 * e^{-\frac{\pi * \sigma}{\theta}}$$

$$\sigma = 0.5236 \rightarrow e^{-\sigma} = 0.5924$$

$$\theta = 0.714$$

$$p = 0.448 \pm j0.388$$

Obtenemos el polinomio de segundo grado a utilizar y operamos junto con otro polinomio de segundo grado que tiene un polo en "a", una condición adicional para que el diseño del controlador sea válido es que el valor de "a" debe ser menor a 1 en valor absoluto ya que este polo

representa un polo a lazo cerrado del sistema y debe estar dentro del círculo unitario por lo contrario haría que el sistema se haga inestable y otro polo en $z = 1$

3.4.4 El procedimiento considerado.

- Traducir los requerimientos de comportamiento en especificaciones temporales, frecuenciales y de situación de polos y ceros.
- Tener en cuenta variables físicas a medir o traducir, así como el rango de funcionamiento en el que se trabajara.
- Una vez dispuesto del modelo conjunto se traza el lugar geométrico de las raíces para hacerse idea de la complejidad del sistema.
- Escoger con quien se trabajará con el diagrama de Bode, o realizar el diseño en el lugar geométrico.
- Una práctica recomendable es intentar que las especificaciones deseadas para el sistema en lazo cerrado se cumplan con un controlador tipo PID o sus casos particulares, o del tipo atraso-adelanto (dos polos y dos ceros) incluyendo un control integral si se desea eliminar el error en régimen estacionario.
- Simulación del control diseñado para que funcione adecuadamente.

3.4.5 La obtención del Controlador.

Polo deseado

$$s_{1,2} = -0.6095 \pm 0.787i$$

Hallamos los polos de la planta

$$s_{1,2} = -0.05835 \pm 2.8687i$$

Hallamos el aporte en fase de la planta que es 360.09° , para lograr que pase por el polo deseado nuestros compensador sumando los ángulos del cero y el polo deben sumar 180.09° .

El ángulo que se tiene que incrementar para pase por el punto deseado es positivo esto nos lleva a decir que el compensador que se necesita es de adelanto, por lo que se realizara el diseño de dicho compensador.

3.4.6 Compensador en adelanto

Con ayuda de la herramienta pidtools de Matlab se realiza el diseño del controlador

$$Ca = 232.73 * \frac{s + 0.3553}{s + 6.04}$$

Compensador

Para la función de transferencia discretizado con un periodo de muestreo de 60 segundos.

$$G(z)_x = \frac{0.009645 * z + 0.02439}{z^2 - 1.8 * z + 0.7821}$$

Controlador para el cual se van a diseñar.

$$R(z) = \frac{q_0 * z^2 + q_1 * z + q_2}{z^2 - z}$$

$$R(z) = \frac{Q(z)}{P(z)} ; G(z) = \frac{B(z)}{A(z)}$$

$$A(z) * P(z) + B(z) * Q(z) = (z \pm p)(z - 1)(z - a)$$

$$(z - 0.448 - j0.388)(z - 0.448 + j0.388) = z^2 - 0.896 * z + 0.3512$$

$$(z^2 - (a + 1) * z + a)(z^2 - 0.896 * z + 0.3512)$$

$$z^4 - 0.896 * z^3 + 0.351 * z^2 - (a + 1) * z^3 + 0.896 * (a + 1) * z + a * z^2 - 0.896 * a * z + 0.351a$$

$$z^4 + z^3 * (-0.896 - a - 1) + z^2 * (0.351 + 0.896 * a + 0.896 + a) + \\ * (-0.351 * a - 0.351 - 0.896 * a) + 0.351 * a \dots (1)$$

En el lado del controlador y la planta operamos

$$A(z) * P(z) + B(z) * Q(z) \\ = (z^2 - 1.8 * z + 0.7821) * (z^2 - z) + (0.009645 * z + 0.02439) \\ * (q_0 * z^2 + q_1 * z + q_2) \\ \dots = z^4 - 1.8z^3 + 0.7821z^2 - z^3 + 1.8z^2 - 0.7821z + 0.009645q_0z^3 + 0.02439q_0z^2 \\ + 0.009645q_1z^2 + 0.02439q_1z + 0.009645q_2z + 0.02439q_2 \\ \dots = z^4 + z^3(-2.8 + 0.009645q_0) + z^2(2.5821 + 0.02439q_0 + 0.009645q_1) \\ + z(-0.7821 + 0.02439q_1 + 0.009645q_2) + 0.02439q_2 \dots (2)$$

Comparamos las ecuaciones obtenidas (1) = (2)

$$-2.8 + 0.009645q_0 = -1.896 - a \\ 2.5821 + 0.02439q_0 + 0.009645q_1 = 1.896 * a + 1.247 \\ -0.7821 + 0.02439q_1 + 0.009645q_2 = -1.247 * a - 0.351 \\ 0.02439q_2 = 0.351 * a$$

Ordenando las ecuaciones.

$$0.009645q_0 + a = 0.904 \\ 0.02439q_0 + 0.009645q_1 - 1.896 * a = -1.3361 \\ 0.02439q_1 + 0.009645q_2 + 1.247 * a = 0.4311 \\ 0.02439q_2 - 0.351 * a = 0$$

Resolviendo el sistema.

$$q_0 = 14.673$$

$$q_1 = -25.647$$

$$q_2 = 10.973$$

$$a = 0.7625$$

Entonces tenemos el controlador.

$$R(z) = \frac{q_0 * z^2 + q_1 * z + q_2}{z^2 - z} = \frac{14.673 * z^2 - 25.647 * z + 10.973}{z^2 - z}$$

3.4.7 Justificar los resultados, ajustes o consideraciones efectuadas.

Se diseñó el controlador esperando que cumpla las especificaciones y la precisión que ofrece para nuestro cometido, que es obtener el comportamiento que se requiere para su funcionamiento.

El controlador diseñado está dentro del margen de estabilidad, ya que para el polo y ceros se encuentran dentro del círculo de radio unidad.

3.4.8 Análisis del Sistema Completo

Planta + controlador en tiempo continuo (representación externa)

$$G_{lc} = \frac{-0.1392s^3 + 1.355s^2 - 0.8372s + 0.004525}{s^4 + 6.115s^3 + 1.382s^2 + 0.8404s + 0.004525}$$

Planta + controlador representación interna.

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -6.115 & -1.382 & -0.8404 & 0.02896 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01563 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(x) = [-0.06959 \quad 0.6777 \quad 0.4186 \quad -0.01448]x(t)$$

Planta + controlador en tiempo discreto (representación externa)

$$G_{lc} = \frac{0.06323z^3 + 0.04767z^2 - 0.06258z + 0.047}{z^4 - 2.919z^3 + 2.917z^2 - 1.045z + 0.047}$$

Planta + controlador representación interna.

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 2.919 & -1.458 & 0.5224 & -0.188 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(k)$$

$$y(k) = [0.1265 \quad 0.04767 \quad -0.06258 \quad 0.376]x(k)$$

3.4.9 El análisis de respuesta temporal, identificando sus características.

Para el análisis a la respuesta temporal analizaremos nuestra función de transferencia en tiempo continuo agregando insertando la señal de paso unitario.

$$G_{lc} = \frac{-0.1392s^3 + 1.355s^2 - 0.8372s + 0.004525}{s^4 + 6.115s^3 + 1.382s^2 + 0.8404s - 0.004525}$$

$$G_{lc} = \frac{(s - 10.2306)(s + 0.5833)(s - 0.0005)}{(s + 5.9052)(s + 0.1052 \pm 0.3625i)(s - 0.0005)} * \frac{1}{s}$$

$$G_{lc} = \frac{(s - 10.2306)(s + 0.5833)}{(s + 5.9052)(s^2 + 0.4587s + 0.1432)} * \frac{1}{s}$$

Llevando a dominio del tiempo

$$G(t) = 7.057 + 7.51e^{-0.229t} * (\cos(0.301t) + 0.028 \sin(0.301t)) - (0.45e^{-5.905t})$$

Equivalente reducido.

Por dominancia y cancelación

$$G_{lc} = \frac{0.195}{(s^2 + 0.4587s + 0.1432)}$$

$$G = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

Llevando a su forma normalizada

$$G_{lc} = \frac{0.195}{0.1432} * \frac{0.1432}{(s^2 + 0.4587s + 0.1432)}$$

Frecuencia natural no amortiguada

$$\omega_n^2 = 0.1432$$

$$\omega_n = \sqrt{0.1432} = 0.3784$$

Coefficiente de amortiguamiento

$$\xi = \frac{0.4587}{2\omega_n} = \frac{0.4587}{2 * 0.3784} = 0.6061 \frac{rad}{s}$$

$$\theta = \arccos\xi = \arccos(0.6061) = 52.69 = 0.9196 \text{ rad}$$

Frecuencia amortiguada

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} = 0.3784 * \sqrt{1 - 0.6061^2} = 0.3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{\pi}{0.3} = 10 \text{ s}$$

$$t_r = \frac{\pi - \theta}{\omega_d} = \frac{\pi - 0.9196}{0.3} = 7.41 \text{ s}$$

$$t_d = 0.5 * t_r = 0.5 * 7.41 = 3.71 \text{ s}$$

Hallando tiempo de establecimiento

$$\sigma = \frac{\omega_d}{\text{tg}\theta} = \frac{0.3}{\text{tg}(0.9196)} = 0.229$$

$$t_s = \frac{\pi}{\sigma} = \frac{\pi}{0.229} = 13.71[\text{s}]$$

$$M_p = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} = e^{-\frac{0.6061\pi}{\sqrt{1-0.6061^2}}} = 0.091 \rightarrow 9.13\%$$

3.4.10 El análisis de respuesta en frecuencia, identificando sus características.

$$G_{lc} = \frac{0.195}{0.1432} * \frac{0.1432}{(s^2 + 0.4587s + 0.1432)}$$

Ancho de banda

$$BW = \omega_n \left((1 - 2\xi^2) + \sqrt{\xi^4 - 4\xi^2 + 2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Remplazando

$$BW = 0.3784 \left((1 - 2(0.6061)^2) + \sqrt{4(0.6061)^4 - 4(0.6061)^2 + 2} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.4314$$

Frecuencia critica

$$\omega_c = \omega_n = 0.3784 \text{ rad}$$

magnitud

$$k = \frac{0.195}{0.1432} = 1.36$$

$$|G(jw)| = 20 * \log|1.36| = 2.671 \text{ dB}$$

Fase

$$\phi(jw) = -\arctan \left(\frac{2\xi w_n}{1 - w_n^2} \right) = -\arctan \left(\frac{2 * 0.6061 * 0.3784}{1 - 0.3784^2} \right) = -28.16$$

Pico de resonancia

$$M_r = \frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}} = 1.037$$

3.4.11 El análisis en espacio de estados, identificando sus características.

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -6.115 & -1.382 & -0.8404 & 0.02896 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01563 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t) = [-0.06959 \quad 0.6777 \quad 0.4186 \quad -0.01448]x(t)$$

$Co = [B \ AB \ A^2B \ A^3B]$ matriz de controlabilidad

$$Co = \begin{bmatrix} 2 & -12.23 & 72.022 & -425.1962 \\ 0 & 2 & -12.23 & 72.22 \\ 0 & 0 & 2 & -12.23 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0313 \end{bmatrix}$$

$$\det(A) = 0.2504 \quad rang(A) = 4$$

$Op = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ CA^3 \end{bmatrix}$ matriz de observabilidad

$$Op = \begin{bmatrix} -0.06959 & 0.6777 & 0.4186 & -0.01448 \\ 1.1032 & 0.5148 & 0.0582 & -0.02015 \\ -6.2315 & -1.4664 & -0.9272 & 0.03195 \\ 36.6395 & 7.6848 & 5.2375 & -0.1804 \end{bmatrix}$$

$$\det(A) = -0.0286 \quad rang(A) = 4$$

Viendo los resultados de nuestro trabajo, nos lleva a concluir que nuestro sistema es controlable y observable

3.4.12 El análisis de estabilidad externa (absoluta y relativa) e interna.

Análisis de estabilidad con el criterio de Jury de la planta + controlador

$$G_{lc} = \frac{0.06323z^3 + 0.04767z^2 - 0.06258z + 0.047}{z^4 - 2.919z^3 + 2.917z^2 - 1.045z + 0.047}$$

Realizado en Matlab la matriz de JURY tenemos como resultado:

$a_4 = 0.0470$	$a_3 = -1.0450$	$a_2 = 2.9170$	$a_1 = -2.9190$	$a_0 = 1$
$a_0 = 1$	$a_1 = -2.9190$	$a_2 = 2.9170$	$a_3 = -2.9190$	$a_4 = 0.0470$
$b_3 = -0.9978$	$b_2 = 2.8699$	$b_1 = 2.7799$	$b_0 = 0.9078$	
$b_0 = 0.9078$	$b_1 = 2.7799$	$b_2 = 2.8699$	$b_3 = -0.9978$	
$c_2 = 0.1715$	$c_1 = -0.3399$	$c_0 = 0.1685$		

Observamos que el sistema es críticamente estable.

Análisis de la Simulación.

a) SIMULACIÓN TEMPORAL:

3.4.13 La representación externa e interna, en tiempo continuo y discreto.

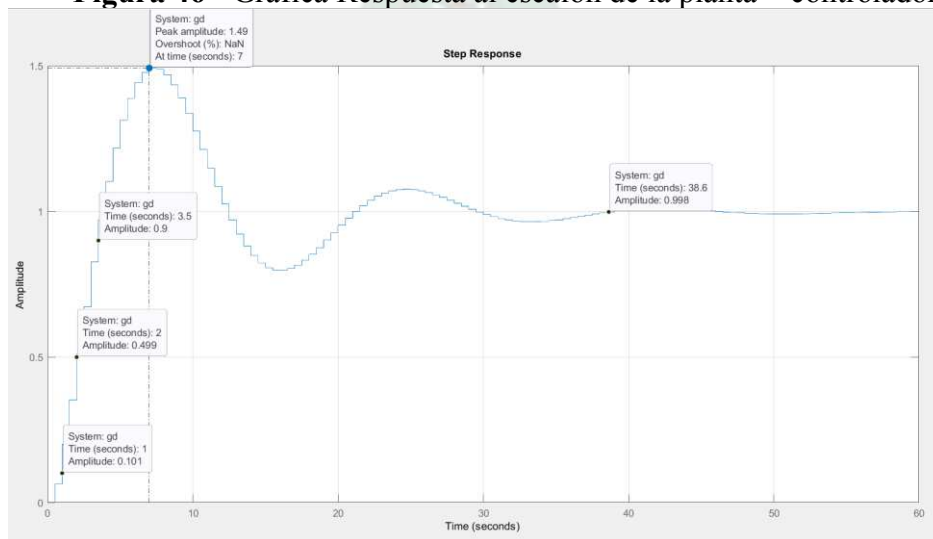
Representación externa de la planta + controlador.

Con los comandos de Matlab tenemos la siguiente función de transferencia

$$\text{planta + controlador} = \frac{0.06323z^3 - 0.04767z^2 - 0.06258z + 0.047}{z^4 - 2.982z^3 + 2.964z^2 - 0.9823z}$$

3.4.14 El tipo de respuesta temporal.

Figura 46 - Grafica Respuesta al escalón de la planta + controlador.



Fuente: Elaboración propia en MatLab

3.4.15 Las características temporales de la respuesta transitoria.

Tiempo de retardo (t_d):

$$t_d = 2 \text{ s}$$

Tiempo de crecimiento (t_r):

$$t_r = 2.5 \text{ s}$$

Tiempo de pico (t_p):

$$t_p = 7 \text{ s}$$

Máximo sobre pulso (M_p):

$$M_p = 49 \%$$

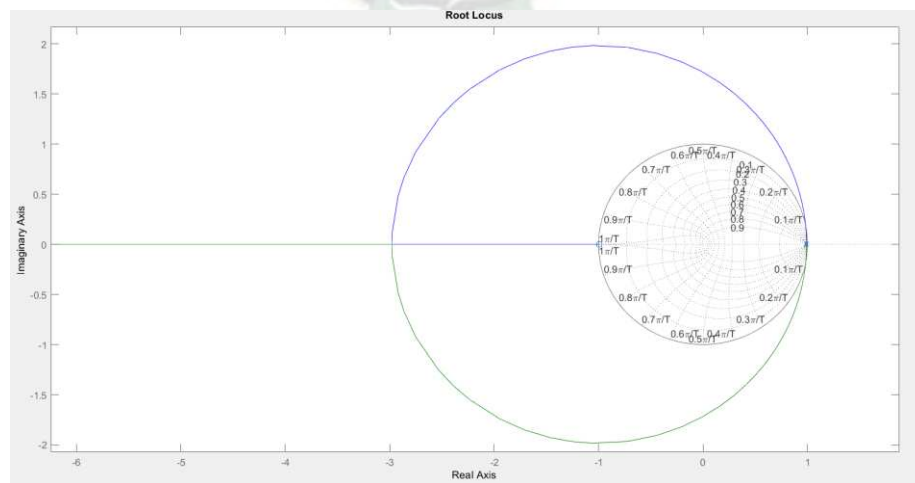
3.4.16 Las características temporales de la respuesta de régimen o estacionaria.

Tiempo de establecimiento (t_s):

$$t_s = 36.6 \text{ s}$$

3.4.17 Si fuera inestable, evaluar a lazo cerrado.

Figura 47 - Nuestro sistema está dentro del círculo unitario lo que nos dice que es estable.



Fuente: Elaboración propia en MatLab

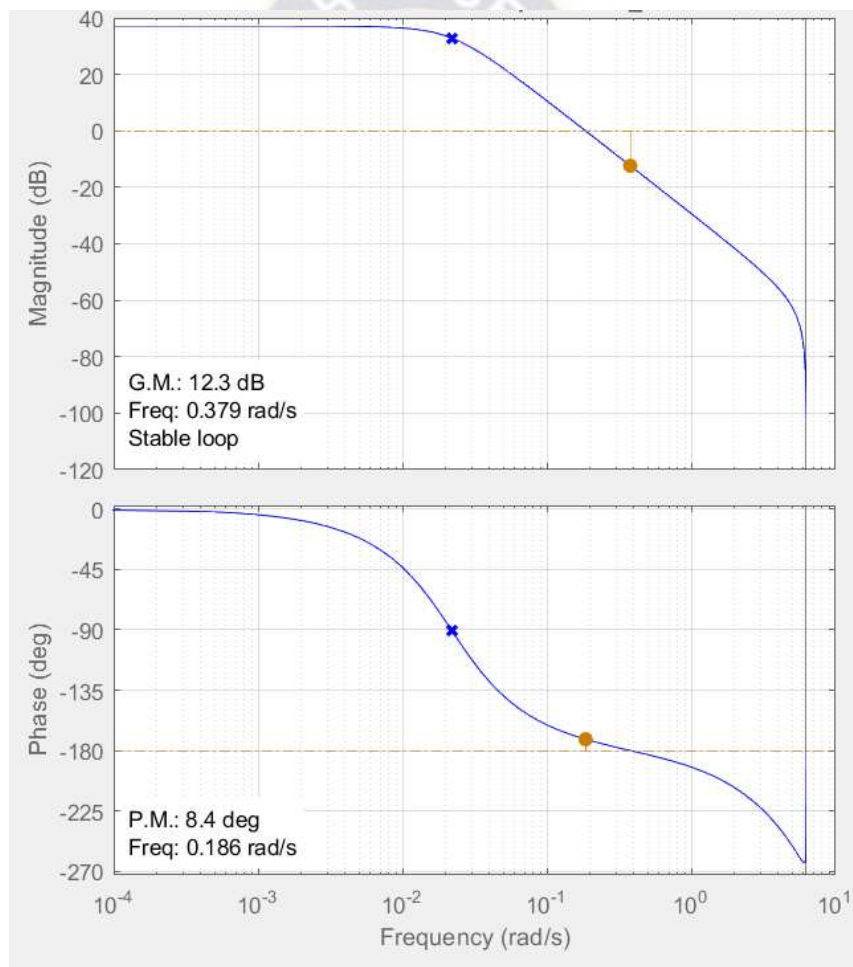
3.4.18 Interpretar los resultados.

Las características temporales observamos que el tiempo de establecimiento es de 36.6 segundos, este tiempo es alto, esto se debe a que nuestra planta trabaja en un ambiente donde los cambios de nivel se hacen lentos, es muy similar a los cambios de temperatura.

3.4.19 SIMULACIÓN EN FRECUENCIA:

3.4.19.1 El tipo de respuesta de frecuencia.

Figura 48 - Grafica SISOTOOLS de la planta + controlador.



Fuente: Elaboración propia en MatLab

3.4.19.2 Las características frecuenciales de la respuesta en magnitud y fase.

Margen de ganancia 12.3 dB

Margen de Fase 8.4 deg

El sistema es estable.

3.4.19.3 Interpretar los resultados.

Para un sistema de control, tanto el margen de ganancia como el margen de fase deben ser positivos mayores a cero lo que nos indica que el sistema sea estable. Márgenes negativos indican inestabilidad.

Margen de ganancia 12.3 dB, estos valores nos indica que tanto se puede incrementar la ganancia de lazo abierto, antes de que el sistema se haga inestable.

Margen de fase 8.4 deg, Es la cantidad de retardo de fase adicional en la frecuencia de cruce de ganancia requerida para llevar el sistema al borde de la inestabilidad

Estos dos conceptos no solo indican la estabilidad, sino que nos permiten dar un margen de que tan lejos está el sistema de la estabilidad, esto ya que entre más pequeños los valores del margen de ganancia y de fase más tenderá nuestro sistema hacia la inestabilidad y viceversa.

3.4.19.4 Las formas canónicas.

Forma canónica controlable.

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 2.919 & -1.458 & 0.5224 & -0.188 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(k)$$

$$y(k) = [0.1265 \quad 0.04767 \quad -0.06258 \quad 0.376]x(k)$$

Forma canónica observable.

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 2.919 & 2 & 0 & 0 \\ -1.458 & 0 & 1 & 0 \\ 0.5224 & 0 & 0 & 0.125 \\ -0.188 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0.1265 \\ 0.0476 \\ -0.06258 \\ 0.376 \end{bmatrix} u(k)$$

$$y(k) = [0.5 \quad 0 \quad 0 \quad 0]x(k)$$

La solución de la ecuación de estado.

$$G(t) = 7.057 + 7.51e^{-0.229t} * (\cos(0.301t) + 0.028 \sin(0.301t)) - (0.45e^{-5.905t})$$

La respuesta del sistema (libre y forzada)

Respuesta al sistema forzado

$$G(t) = 7.057u(t)$$

Respuesta al sistema libre

$$G(t) = 7.51e^{-0.229t} * (\cos(0.301t) + 0.028 \sin(0.301t)) - (0.45e^{-5.905t})$$

Con lo obtenido podemos concluir que el sistema es estable, observable y controlable

CAPITULO IV.- IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO

Para la implementación del prototipo se consiguió un turril de 50 litros, y se realizó una perforación de 1/2" en la parte inferior para la distribución de agua. Para la conexión se utilizó los siguientes materiales:

Figura 49 - Materiales utilizados para la conexión y conexiones realizadas al *tanque 1*.

Material	Característica	Material	Característica
	1. Se utiliza un Niple de 1/2" para la conexión en la parte inferior del tanque.		5. Después se acopla un tubo de cañería de PVC de una longitud de 16 cm
	2. Después del niple se coloca una arandela de goma con un diámetro interior de 20 mm y un espesor de 3 mm.		6. Se conecta una reducción de 1" a 1/2" en la entrada de succión de la bomba de agua.
	3. Después de la arandela de goma se coloca una arandela de metal con un diámetro interior de 20 mm y un espesor de 1,5 mm.		7. Se coloca un niple de 1/2" en la reducción de la bomba de agua,
	4. Para que no existe fuga en el tanque 1, se ajusta con una unión de 1/2",		8. Finalmente se coloca una unión universal de 1/2" para conectar la cañería PVC con el niple de bomba de agua.



Fuente: catálogo de productos Tigre [1]

Como se puede ver en la figura 26 la perforación de 1/2" se instaló un niple de tupi de cañería de 1/2" para posteriormente con una unión de PVC seguido de un tubo de 20cm de largo que va a una unión universal que se conecta a la bomba de agua con ayuda de un reductor de PVC de 1" a 1/2" para alimentar a la parte de calentamiento de material, como la etapa de enfriamiento(condensación).

Para el tanque 2 se consiguió un recipiente de volumen de 30 litros, que tenga una tapa donde el recipiente se pueda cerrar herméticamente para que no exista ningún tipo de fuga de vapor.

A una altura de 25cm del tanque 2 se realiza una perforación de 19cm e diámetro, los materiales utilizados para llenado de agua hasta una altura de 21 cm son los siguientes:

Figura 50 - Materiales utilizados para la conexión del *tanque 2*.

Material	Característica	Material	Característica
	1. Se conecta una reducción de 1" a 1/2" en la salida de la bomba de agua.		7. Se realiza la conexión con el niple y la llave esférica de paso de 1/2".
	2. Se coloca un niple de 1/2" en la reducción de la salida de la bomba de agua.		8. En el otro extremo de la llave esférica de paso se conecta un niple de 1/2".
	3. Después se acopla una T de 1/2" para realizar la distribución de agua para el tanque 2 y el tanque 3.		7. En el tanque 2 se realiza la conexión de una reducción de 1/2" a 5/8".
	4. Se utiliza un tubo de PVC de 30 cm de la conexión de T hasta el tanque 2,		8. Se coloca una arandela de goma y metal, ambas de 16 mm de diámetro interior y un espesor de 3 mm y 1.5 mm respectivamente.
	5. Después se acopla un codo de 1/2".		9. Se instala la electroválvula de 1/2" en la reducción de 1/2" a 5/8".
	6. Se coloca un niple de 1/2" en la conexión del codo		10. Finalmente se instala una unión universal de 1/2" para conectar la electroválvula con la llave esférica de paso.

Fuente: Catálogo de productos Tigre

Figura 51 - Conexiones realizadas en el tanque 2



Fuente: Elaboración propia

En la parte inferior del tanque 2 a una altura de 8cm, se realiza una perforación 4 cm de diámetro para introducir una resistencia de calefón de 3Kw, para evitar alguna filtración de agua se procedió al sellado y ajuste de la resistencia con ayuda de una silicona térmica de color negro, que soporta una temperatura de más de 450°C.

En el mismo tanque a una altura de 25 cm se realizó una perforación de ¼" para el llenado de líquido, a la perforación se introdujo un niple de ¼" y se acoplo una unión de ¼" a ½" para la electroválvula de 12 voltios, una unión universal de PVC, y un tubo de 10 cm del mismo material para controlar junto con la bomba de agua el llenado de líquido.

En el interior del tanque 2 se coloca un cernidor perforado para que la materia prima las hojas de Eucalipto y el agua no ten contacto.

Figura 52 - Placa perforada

Fuente: Elaboración propia

En la tapa del tanque 2 se realiza la instalación de un sensor de temperatura LM35 realizando una perforación de 9mm en el medio de la tapa, se introdujo el LM35 dentro de un grasero de curva de 45° como se muestra en la figura 56 si el mismo fue sellado con la silicona negra que también se utilizó para el resistor de temperatura de 3KW.

Figura 53 - Sensor de temperatura LM35 para el tanque 2.

Fuente: Elaboración propia

El tanque 2 también se realizó una perforación de 19 cm se soldó con una estación de aire caliente y estaño para asegurar el conector de cobre roscado hembra para realizar la instalación de los tubos de cobre por donde pasara el vapor, generado en el tanque 2, los materiales utilizados son los siguientes:

Figura 54 - Materiales utilizados para la conexión del *tanque 2*.

Material	Característica	Material	Característica
	1. En la tapa del tanque 2 se instala un conector de cobre rosca exterior de 1/2".		5. Se utilizo un reductor de 1/2 "a 5/8" para soldar en el extremo del tubo de cobre rígido.
	2. Se adquirio un tubo rígido de cobre y en los extremos se soldó con estaño dos conectores de cobre.		6. se adquirio un tubo de 5/8" de 10cn de longitud y en su extremo se realizo un acampanado.
	3. En un extremo del tubo de cobre se soldó un conector a rosca interior de 1/2".		7. Para realizar la conexión antes de acampanar se coloca el conector con rosca interna.
	4. En el otro extremo del tubo de cobre se soldó un codo de 90° de rosca interior de 1/2".		8. Se utiliza este conector debido a la dificultad en el momento de ensamblar la pieza.

Fuente: Imágenes obtenidas en [4] [5] [6] [7]

Figura 55 - Tanque 2.



Fuente: Elaboración propia

En el tanque 3 de volumen de 20 litros, se realiza la etapa de condensación, en donde se realizó dos perforaciones: uno en la parte inferior de diámetro de 19mm que se utiliza para extraer

el agua del tanque. Y en el extremo superior se realiza otra perforación para realizar la conexión con el serpentín de cobre.

Figura 56 - Tanque 3.



Fuente: Elaboración propia

Como resultado de todas las instalaciones realizadas se tiene el prototipo final.

Figura 57 - Prototipo final de la extracción de aceite esencial de Eucalipto



Fuente: Elaboración propia

4 Implementación de la parte Eléctrica y Electrónica

Para el circuito de control se tomó las siguientes consideraciones:

Para el cableado del circuito de control en el PLC se utilizó cable de N° 16 AWG de una sección transversal de 1.5 mm^2 y tiene una intensidad máxima de 10 A de color azul.

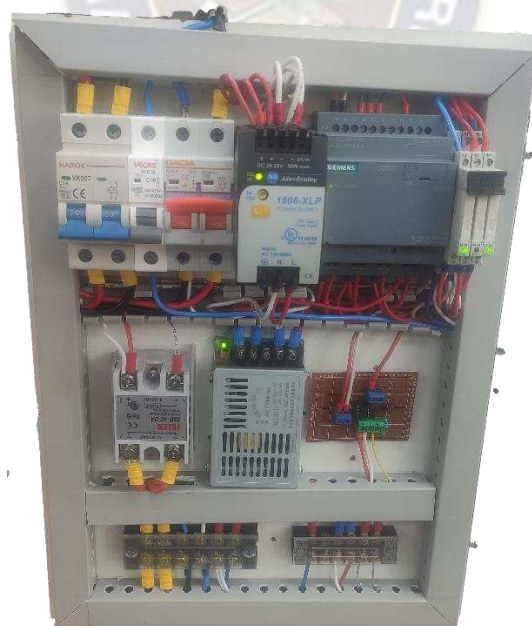
Para el circuito de potencia, en la instalación de los actuadores se consideró lo siguiente:

Para la resistencia de calefón se utilizó cable N° 12 AWG de una sección transversal de 4 mm^2 y tiene una intensidad máxima de 20 A de color rojo y negro.

Para la bomba de agua se utilizó cable N° 14 AWG de una sección transversal de 2.5 mm^2 y tiene una intensidad máxima de 15 A de color celeste y blanco.

Para las electroválvulas se utilizó cable N° 16 AWG de una sección transversal de 1.5 mm^2 y tiene una intensidad máxima de 10 A de color rojo y blanco.

Figura 58 - Tablero Eléctrico de Control y Potencia.



Fuente: Elaboración propia

Para el tablero de mando se utilizó cuatro señalizadores para el tanque1, tanque2, bomba de agua y la resistencia de calefón. También se utilizó un selector de dos posiciones para el inicio

del proceso y se implementó dos botones para aumentar y disminuir el valor de la temperatura requerida (SetPoint).

Figura 59 - Tablero de Mando.



Fuente: Elaboración propia

4.1 Implementación y pruebas

Se realiza la recolección de las hojas de Eucalipto en los predios de la Facultad de Ingeniería en Cota Cota. De acuerdo a los cálculos realizados, se requiere de aproximadamente de 2 Kg de hojas de Eucalipto (hojas y ramas) para obtener 10 ml de aceite esencial de Eucalipto.

Figura 60 - Recolección de hojas de Eucalipto



Fuente: Elaboración propia

Después se arma las conexiones de la bomba de agua al tanque 1 y tanque 2, en el tanque 2 se coloca una placa perforada para que el agua del que se ingresa al tanque 2 no tenga contacto con las hojas de Eucalipto.

Figura 61 - Tanque 2 con la placa perforada



Fuente: Elaboración propia

Se coloca todas las hojas de Eucalipto que se recolecto en el tanque 2.

Figura 62 - Tanque 2 con las hojas de Eucalipto



Fuente: Elaboración propia

Se prosigue cerrando el tanque 2 herméticamente, donde no tiene que existir ningún escape de vapor en el proceso.

Figura 63 - Cerrando herméticamente el tanque 2



Fuente: Elaboración propia

Se realiza la conexión de las cañerías de cobre con el serpentín de cobre de la refrigeración, en la figura && se puede observar que dentro del tanque 3 está instalado un serpentín de cobre y

en la parte inferior del tanque se instala un tubo de PVC (policloruro de vinilo) de 30 cm de longitud que sirve para escape de agua una vez que se llene de agua el tanque y de esa manera la refrigeración sea de forma cíclica.

Figura 64 - Instalación de las cañerías de cobre



Fuente: Elaboración propia

Una vez ensamblado el prototipo para la extracción de aceite esencial se prosigue con las conexiones eléctricas del sensor de temperatura, del resistor, de las electroválvulas y la bomba de agua.

Figura 65 - Conexión del sensor de temperatura LM35, resistor y electroválvulas



Fuente: Elaboración propia

Finalmente se presenta la implementación del prototipo de extracción de aceite esencial de Eucalipto, donde se puede observar la interfaz gráfica en el cual se puede visualizar la temperatura en la cual se encuentra el tanque 2. También se realizó la implementación del tablero eléctrico en donde se tiene los botones para el inicio del proceso y los indicadores de los actuadores que está funcionando.

Figura 66 - Interfaz gráfica y tablero eléctrico



Fuente: Elaboración propia

El prototipo en conjunto tiene el siguiente resultado, los trece litros de agua ingresado en el tanque 2 entra en su punto de ebullición en un tiempo de 30 minutos y la bomba de agua entra en funcionamiento cuando el tanque 2 alcanza una temperatura de 65 °C y se desactiva cuando el tanque 2 baje su temperatura hasta los 20 °C. el tiempo máximo de funcionamiento es de una hora para preservar el cuidado de la electroválvula y la bomba de agua después de una hora el agua para la refrigeración alcanza una temperatura de 53 °C.

Figura 67 - Prototipo final funcionando



Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que se obtiene dos productos en la parte superior del recipiente se tiene el aceite esencial de Eucalipto y en la parte inferior el Hidrolato de Eucalipto.

Figura 68 - Recolección del aceite esencial de Eucalipto



Fuente Elaboración propia

Por diferencia de densidad se separa el aceite esencial de Eucalipto del Hidrolato de Eucalipto

Figura 69 - Aceite esencial de Eucalipto e Hidrolato de Eucalipto



Fuente: Elaboración propia

4.2 Costos de implementación del prototipo

Tabla 10 -Costos de Implementación del prototipo

Nº	NOMBRE	CANTIDA	COSTO
1	Disyuntor bifásico de 32A	1	28
2	Disyuntor de 16A monofásico	1	18
3	Disyuntor bifásico de 16A	1	32
4	Duente allen Bradley 24V	1	250
5	PLC LGO 12/24 RCO	1	850
6	Relé 700-Hlt1z De bornera	3	360
7	Relé de estado sólido 40A	1	60
8	Fuente conmutada de 12v 2A	1	40
9	Bornera de regleta 600v 25A	1	12
10	Bornera de regleta 600v 15A	1	9
11	Riel din 50cm	1	7.5
12	Cable canal ranurado 25x25	1	48
13	Madera truplan 30x40	2	21
14	Cable 1mm	15	20
15	Cable 1.5mm	10	25
16	Cable enchaquetado 4mm	4	42
17	Enchufe schuko de 16A	1	20
18	Docena de tornillo y tuercas	3	12
19	Selector de 2 posiciones	1	7

20	Botones	2	20
21	Foco piloto	3	21
22	Amperímetro voltímetro	1	80
23	Tanque 1	1	15
24	Tanque 2	1	35
25	Tanque 3	1	10
26	Electroválvula	2	90
27	Resistencia de calefón	1	180
28	Unión universal PVC	2	10
29	Codo PVC	3	7.5
30	Niple 1/2 PVC	5	10
31	Unión 1/2 PVC	3	6
32	Llave esférica de paso 1/2	2	80
33	T de PVC 1/2	1	3
34	Reductor de 1 a 1/2	2	8
35	Tubo PVC 1/2	1	14
36	Niple de tupi 1/2	1	6
37	Niple 1/4	1	12
38	Reductor de tupi 1/2 a 1/4	1	18
39	Grifo de 1/2	1	30
40	Tubo de cobre 5/8	6	200
41	Conectores de bronce 1/2	7	105
42	Codo de bronce 1/2	1	24
43	Reductor de bronce 3/4 a 1/2	2	52
44	Bomba de agua	1	760
45	Sensor LM35	1	15
	Total		3673

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5 CONCLUSIONES

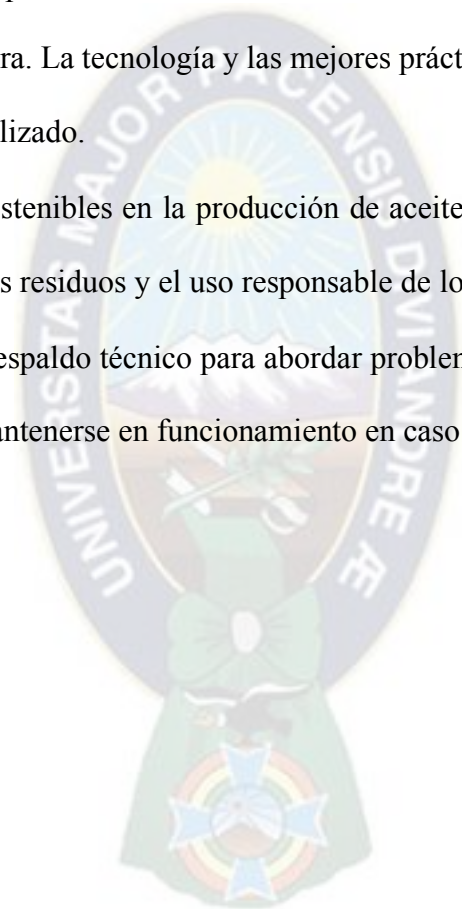
- Se realizó la implementación del prototipo de extracción de aceite esencial de Eucalipto por el método de arrastre de vapor, que está constituido por dos etapas principales: Etapa de generador de vapor y etapa de refrigeración. Realizando la implementación de un controlador lógico programable PLC, sensores y actuadores descritos en el funcionamiento del proceso.
- Se investigó los diferentes procesos de extracción de aceites esenciales y se verificó que el método por arrastre de vapor es uno de los más utilizados.
- Se identificó y se explicó conceptualmente el proceso y procedimiento de la extracción de aceite esencial de eucalipto.
- Se determinó que la variable principal a controlar del proceso es la temperatura, para la etapa de generación de vapor fue controlado mediante un sensor de temperatura LM35.
- Se investigó a detalle todos los actuadores y sensores para poder realizar las diferentes etapas del proceso, dando como resultado un monitoreo de las de las entradas y salidas del proceso mediante una interfaz gráfica.
- Se realizó el diseño y armado de los circuitos de control y potencia.
- Se realizó pruebas de cada etapa del sistema de manera individual y de forma conjunta, en lazo abierto y cerrado.
- Se realizó la adquisición de datos del sistema con lo cual se obtuvo su función matemática para el diseño del controlador.

- **Regulación del proceso:** La automatización permite un control más preciso de las variables del proceso, como la temperatura y la refrigeración, lo que garantiza que se cumplan las condiciones óptimas para la extracción de aceite esencial.
- **Monitoreo remoto:** La capacidad de monitorear y controlar el sistema de forma remota a través de la automatización brinda flexibilidad y facilita la gestión a distancia, lo que puede ser especialmente útil en situaciones de emergencia o en entornos de producción a gran escala.

6 RECOMENDACIONES

- Antes de implementar la automatización, es fundamental realizar un diseño detallado del sistema y una planificación minuciosa. Esto incluye la disposición de los equipos, la ubicación de los sensores y actuadores, y la configuración de los controladores.
- Asegúrate de utilizar equipos y estudiar a detalle sus características para que sean adecuados para la extracción de aceite esencial de eucalipto. Los componentes deben ser resistentes a los productos químicos y a las condiciones del proceso.
- Incorpora sistemas de monitoreo y control de calidad para asegurarte de que el aceite esencial producido cumpla con los estándares de calidad y pureza requeridos por la industria.
- Establece un programa de mantenimiento preventivo para garantizar que todos los componentes de la planta funcionen de manera óptima. Esto ayuda a prevenir problemas y minimizar tiempos de inactividad no planificados.
- Utiliza software de control y supervisión confiable que permita el monitoreo en tiempo real y la configuración de parámetros. Asegúrate de que el software sea escalable para futuras expansiones.

- Considera la eficiencia energética en el diseño de la automatización. Implementa medidas para optimizar el consumo de energía y reducir costos operativos.
- Mantén registros detallados de las operaciones y el mantenimiento de la planta automatizada. Esto es esencial para el seguimiento, la solución de problemas y el cumplimiento de regulaciones.
- Realiza evaluaciones periódicas del rendimiento de la planta automatizada y busca oportunidades de mejora. La tecnología y las mejores prácticas evolucionan con el tiempo, así que mantente actualizado.
- Considera prácticas sostenibles en la producción de aceite esencial de eucalipto, como la gestión adecuada de los residuos y el uso responsable de los recursos naturales.
- Establece un plan de respaldo técnico para abordar problemas inesperados y asegurarte de que la planta pueda mantenerse en funcionamiento en caso de fallas críticas.



BIBLIOGRAFIA

- Alfredo Arias Jara Ingeniero. (2011). *Fundamentos y Aplicaciones de Transferencia de Masa* (U. N. de S. C. de H. F. de I. Q. y Metalurgia (Ed.)).
- Alfredo José, A. B., Gabriel, P. V., & Juan Carlos, P. T. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo automático para la obtención de aceites esenciales. Diseño y construcción de un prototipo automático para la obtención de aceites esenciales*. Universidad de San Buenaventura - Facultad de Ingeniería.
- Canal del Área de Tecnología Educativa. (2019). *Eucalipto blanco (Eucalyptus globulus), detalle hojas*.
https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/mediateca/ecoescuela/?attachment_id=4625
- Fraden, J., Norton, H. N., Middelhoek, S., Audet, S. A., & Sensors, S. (2002). Sensores. *Sensores, IV*, 33 Pag. https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master_IE/Sensores.pdf
- Grupo Milenio. (2018). *La automatización industrial en la empresa competitiva*. Universidad Politécnica de Tulancingo. <https://www.milenio.com/opinion/varios-autores/universidad-politecnica-de-tulancingo/la-automatizacion-industrial-en-la-empresa-competitiva>
- ISO9235 - Norma Española Materias primas aromáticas naturales*. (2022).
- Madías, J. (2018). Sistemas de control de procesos en la acería. *Innovación*, 566, 40–53.
<https://www.researchgate.net/publication/323538057>
- Martínez, Hi. (2015). *Modulo didáctico para prácticas de laboratorio con controladores lógicos programables* (Issue 16.1.2015). Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Ortuño Sánchez, M. F. (2006). *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes* -.
<https://books.google.com.pr/books?id=cW5TsDKqx9wC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Paredes, D., & Quinatoa, F. (2010). Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales.

Tesis De Grado, 191.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1710/1/15T00453.pdf>

Robert, B., & Brown, E. B. (2004). *Introducción a la Industria de los Aceites Esenciales*

extraídos de Plantas Medicinales y Aromáticas (Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

(Ed.); Issue 1).

Sdindustrial. (2022). *Sensores: Qué son, cómo funcionan, características y tipos*.

<https://sdindustrial.com.mx/blog/sensores/>

Villaverde, I. C. (2018). Optimización de la extracción de Aceites Esenciales por destilación en

Corriente de Vapor. *Universidad Politécnica de Madrid*, 1, 84. <https://bit.ly/3ObkF1a>

[https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/power-](https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/power-supplies/switched-mode-power-supplies/1606-xlp-compact.html)

[supplies/switched-mode-power-supplies/1606-xlp-compact.html](https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/power-supplies/switched-mode-power-supplies/1606-xlp-compact.html)

[2]<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED1052-2MD08-0BA1>

[3]https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/700-td552_-en-p.pdf

[4] <https://www.geekfactory.mx/tienda/componentes/relevadores/ssr-40-da-relevador-de-estado-solido-dc-ac-40-a/>

[5]<https://www.puntoflotante.net/ELECTRO-VALVULA-SOLENOIDE-12-VOLTS-0.5-AMP.htm>

[6]<https://www.hidrotecnica.cl/ficha/50002/bomba-pentax-periferica-pm80-1hp>

[7]<https://robotica.com/componentes/el-sensor-de-temperatura-lm35/>

[8]http://solucioningenieril.com/amplificadores_operacionales/amplificador_no_inversor

ANEXO 1– Programa para identificar la estabilidad por el método JURY

```

1 -   clc
2 -   disp('ESTABILIDAD SEGUN METODO DE JURY');
3 -   disp(' ');
4 -   disp('SELECCIONE PRESIONANDO');
5 -   disp('ECUACION CARACTERISTICA DEL SISTEMA');
6 -   denz=input('COEFICIENTE DE LA ECUACION CARACTERISTICA ');
7 -   disp(' ');
8 -   clc
9 -   disp('EL ORDEN DE LA ECUACION CARACTERISTICA ES: n-');
10 -  n=length(denz)-1
11 -  %optencion de la matriz jury
12 -  disp(' ');
13 -  m=n+1;
14 -  for i=1:m
15 -      a(i)=denz(i);
16 -  end
17 -  pz1=polyval(denz,1);
18 -  if abs(pz1)<1.0e-5
19 -      pz1=0;
20 -  else
21 -      pz1=pz1;
22 -  end
23 -  pz2=polyval(denz,1);
24 -  x=n-1;

25 -  switch x
26 -      case 1
27 -          %sistema de segundo orden
28 -          disp(' ');
29 -          disp('LA MATRIZ DE JURY ES: a2 a1 a0 = ');
30 -          [a(1) a(2) a(3)]
31 -          %PRUEBA DE ESTABILIDAD
32 -          if (pz1 == 0) && (abs(a(m)) < abs(a(1)))
33 -              disp('EL SISTEMA ES CRITICAMENTE ESTABLE')
34 -          end
35 -          if abs(a(m)) >= a(1)
36 -              disp('EL SISTEMA ES INESTABLE')
37 -          elseif pz1 <= 0
38 -              disp('EL SISTEMA ES INESTABLE')
39 -          elseif pz2 > 0
40 -              disp('EL SISTEMA ES ESTABLE')
41 -          else
42 -              disp('EL SISTEMA ES INESTABLE')
43 -          end

```

```

44 - case 3
45 -     disp(' ');
46 -     disp('LA MATRIZ DE JURY ES:');
47 -     disp(' ');
48 -     disp('a4 a3 a2 a1 a0 ');
49 -     disp('a0 a1 a2 a3 a4 ');
50 -     disp('a0 a1 a2 a3 a4 ');
51 -     disp('b3 b2 b1 b0 ');
52 -     disp('b0 b1 b2 b3 ');
53 -     disp('c2 c1 c0 ');
54 -     for k=1:m-1
55 -         b(k)=det([a(m) a(m-k); a(1) a(k+1)]);
56 -     end
57 -     for k=1:m-2
58 -         c(k)=det([b(m-1) b(m-1-k); b(1) b(k+1)]);
59 -     end
60 -     A1=[a(5) a(4) a(3) a(2) a(1)];
61 -     A2=[a(1) a(2) a(3) a(2) a(5)];
62 -     B1=[b(4) b(3) b(2) b(1) 0];
63 -     B2=[b(1) b(2) b(3) b(4) 0];
64 -     C1=[c(3) c(2) c(1) 0 0];
65 -     [A1; A2; B1; B2; C1]
66 -
66 - %PRUEBA DE ESTABILIDAD
67 - if (pz1==0) & (abs(a(m)) < abs(a(1)))
68 -     disp('SISTEMA CRITICAMENTE ESTABLE');
69 - end
70 - if abs(a(m))>= a(1)
71 -     disp('SISTEMA INESTABLE');
72 - elseif pz1 < 0
73 -     disp('SISTEMA INESTABLE');
74 - elseif pz2<=0
75 -     disp('SISTEMA INESTABLE');
76 - elseif (abs(b(m-1)) <= abs(b(1)))
77 -     disp('SISTEMA INESTABLE');
78 - elseif (abs(c(m-2)) > abs(c(1)))
79 -     disp('SISTEMA ESTABLE');
80 - else
81 -     disp('SISTEMA INESTABLE');
82 - end
83 - end
84 - end

```

Command Window

LOAYZA ROLLANO JOSE LUIS
Joselo.loayza24@gmail.com
78885639

CLAURE MARIN CARMEN XIMENA
clauremarincx@gmail.com
79503528

ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIAMINISTERIO DE DESARROLLO
PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

2023-TTES-1889-D-1

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-4179/2023
La Paz, 29 de Noviembre del 2023

VISTOS:

La solicitud de inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **22 de Noviembre del 2023**, por **JOSE LUIS LOAYZA ROLLANO** con C.I. N° 6791537 LP, **CARMEN XIMENA CLAURE MARIN** con C.I. N° 9878710 LP, con número de trámite **DA 2288/2023**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"AUTOMATIZACIÓN PARA UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALYPTUS (EUCALYPTUS GLOBULOS) POR EL MÉTODO DE ARRASTRE DE VAPOR"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz
Av. Montes, N° 55,
entre Esp. Uruguay y
C. Batallón Illimasi.
Telf.: 219200
219276 - 219291

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telf.: 322752 - 32042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 737,
entre 16 de Julio y Arceana.
Telf.: 4940403 - 72042057

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2960
Edif. Multicentro El Ceibo
Uda. Piso 2, Of. 58,
Zona 16 de Julio.
Telf.: 2840001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esp. Simiagallita,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Ciro Vilgo y Aranao
Edif. Santa Clara, N° 263.
Telf.: 72092086

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre N° 5832
entre Agaccho y Junín,
Galería Central, Of. 16.
Telf.: 6220188

Oficina - Potosí
Av. Wilazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 202,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 7200160

www.senapi.gob.bo

ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIAMINISTERIO DE DESARROLLO
PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"AUTOMATIZACIÓN PARA UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTUS GLOBULOS) POR EL MÉTODO DE ARRASTRE DE VAPOR"**, a favor de los autores y titulares: **JOSE LUIS LOAYZA ROLLANO** con C.I. Nº 6791537 LP y **CARMEN XIMENA CLAURE MARIN** con C.I. Nº 9878710 LP, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



RIG/apa
c.c.Arch.

Abg. Roberto Ilich García Herrera
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS a.i.
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz
Av. Montes, Nº 595,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telf.: 219700
2192716 - 2192991

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
Nº 29, Edif. Bicentenario.
Telf.: 323792 - 32062996

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, Nº 22,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telf.: 6949093 - 72062997

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 2960
Edif. Multicentro El Ceibo
Uda. Piso 1, Of. 58,
Zona 16 de Julio.
Telf.: 7892001 - 72062999

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, Nº 266
casí esq. Urilagoitia,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72009873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Oro Trigo y Avramo
Edif. Santa Clara, Nº 203.
Telf.: 72092886

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre Nº 5837
entre Ayacucho y Luján,
Galería Central, Of. 14.
Telf.: 67202028

Oficina - Potosí
Av. Villafán entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AP. Salinas Nº 201,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 72028660

www.senapi.gov.bo