Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA

Atribución 4.0 Internacional

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

"INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DEL DIÓXIDO DE AZUFRE EN EL GRADO DE MADURACIÓN DE LAS FRUTAS CONTENIDAS EN EMPAQUES PARA EXPORTACIÓN"

Presentado por:

Bach. CHANG MACHADO MARIA LOURDES

Autor de la Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es **8%** (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual, se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 03 de abril de 2025

Nº de Recibo: 20152234

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

Dr. FERNANDO EDUARDO CANO LEGUA
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

"*Aplicación del Control de Procesos para optimizar la recuperación de aceite esencial de cítricos por Arrastre con Vapor*"

LINEA DE INVESTIGACIÓN:
Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: Bach. MOSCAIZA MENDOZA, Christian Ismael

ASESOR: Dra. ROSA LUZ GALINDO PASACHE

Ica, Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida, la salud, por haberme apoyado en momentos difíciles, por sus bendiciones y por guiarme hacia cada triunfo en mi vida.

A mis padres Christiaan R. Moscaiza Mayuri y Ena D. Mendoza Uribe por su incondicional apoyo durante mi formación profesional y en la ejecución del presente trabajo. Asimismo, a mi hermano Miguel por la motivación para salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por el hermoso regalo de la vida y la salud, y por permitirme tener una buena experiencia dentro de mi universidad.

A mi asesora de tesis Dra. Rosa Galindo Pasache por su conocimiento, orientación, paciencia y motivación que han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

A todos los docentes de mi alma mater, la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, por haberme brindado los conocimientos para desempeñarme como profesional.

A todos los amigos que generosamente me apoyaron en las diferentes etapas de la ejecución del presente proyecto de investigación.

A la Facultad de Ingeniería Química y Textil (FIQT) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por su gran apoyo en el uso de sus instrumentos y equipos para el desarrollo de ensayos en el laboratorio de operaciones unitarias.

Índice de Contenidos

		Pág.
Dedicatoria		**ii**
Agradecimientos		**iii**
Índice de Contenidos		**iv**
Índice de Tablas		**vi**
Índice de Figuras		**vii**
Resumen		**viii**
Abstract		**x**
I.	**INTRODUCCIÓN**	**01**
II.	**ESTRATEGIA METODOLÓGICA**	**02**
2.1.	Aceites esenciales	02
2.2.	Componentes químicos del aceite extraído	03
2.2.1.	Lactonas	04
2.2.2.	Cetonas	04
2.2.3.	Ácidos	05
2.2.4.	Alcoholes	05
2.2.5.	Diterpenos	05
2.2.6.	Lactonas sesquiterpénicas	06
2.2.7.	Terpenos	06
2.2.8.	Hidrocarburos	07
2.3.	Beneficios del aceite esencial	07
2.3.1.	Importancia de los aceites esenciales en la farmacéutica	08
2.4.	Tipos de extracción	09
2.4.1.	Maceración	09
2.4.2.	Prensado en frío	09
2.4.3.	Extracción de CO2 supercrítico	09
2.4.4.	Método de destilación al vapor	10
2.5.	Destilación	11
2.5.1.	Descripción general de la destilación	11
2.5.2.	Teoría de la destilación	12

2.5.3. Presión de vapor 13
2.5.4. Punto de ebullición 14
2.5.5. Volatilidad relativa 16
2.5.6. Clasificación de los métodos de destilación 16
2.6. Destilación por vapor 17
2.6.1. Proceso de destilación por vapor 18
2.6.2. Teoría de la destilación por vapor 20
2.6.3. Planta de destilación por vapor 21
2.7. Uso de destilación por vapor 23
2.7.1. Compuestos bioactivos 24
2.7.2. Terpenos y terpenoides 26
2.7.3. Aceite esencial 27
2.7.4. Hidrolato 28
2.8. Compuestos fenólicos 29
2.8.1. Compuestos fenólicos de subproductos agroindustriales 29
2.9. Pros y contras de la destilación al vapor 31

III. RESULTADOS 32

3.1. Pruebas por el método de arrastre de vapor 32
3.1.1. Especificaciones del equipo 34
3.1.2. Datos recolectados 39
3.1.3. Mediciones obtenidas 42
3.1.4. Graficas obtenidas mediante los datos tomados 44
3.1.5. Medidas obtenidas en el florentino 45
3.1.6. Aplicación del control del proceso 45
3.2. Escalamiento de señales análogas 54
3.2.1. Incorporación de Pantalla HMI 56
3.3. Agregación de la simulación en PID 61
3.3.1. Simulación de la sintonía del PID 63

IV. DISCUSIÓN 65
V. CONCLUSIONES 66
VI. RECOMENDACIONES 67
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 68

Índice de Tablas

Tabla 1 Diferentes materiales utilizados para la extracción de aceite 3

Índice de Figuras

Fig. 1 Estructura de los diferentes componentes del sesquitterpeno 6
Fig. 2 Estructura de los terpenos 6
Fig. 3 Estructura de los terpenos 7
Fig. 4 Diagrama de equilibrio vapor-líquido. 15
Fig. 5 Separación de aceite y agua por matraz florentino 18
Fig. 6 Diagrama de flujo generalizado 20
Fig. 7 Sistema de destilación por vapor a escala industrial 21
Fig. 8 Sistema de hidrodestilación Clevenger [22] 22
Fig. 9 Sección transversal de la hidrodestilación a escala industrial [2] 23
Fig. 10 Vista simplificada de las vías de producción 26
Fig. 11 Cáscara de naranja 32
Fig. 12 Pesaje de la muestra 33
Fig. 13 Vista de la columna 33
Fig. 14 Vista general de la columna 34
Fig. 15 Instalación del sensor de temperatura 35
Fig. 16 Visor del sensor 36
Fig. 17 Toma de muestras 36
Fig. 18 Vista del recipiente colector 37
Fig. 19 Muestra de aceite colectado 37
Fig. 20 Decantación de la muestra 38
Fig. 21 Muestra de aceite decantada 38
Fig. 22 Residuos de la operación 39
Fig. 23 Esquema de conexión al PLC S7-1200 Siemens. 46
Fig. 24 Carga y prueba del PLC 47
Fig. 25 Enlace con Windows 47
Fig. 26 Creación del proyecto 48
Fig. 27 Declaración del PLC 48
Fig. 28 Agregación de los módulos 49
Fig. 29 Configuración de señales discretas 49
Fig. 30 Configuración de señales analógicas 50
Fig. 31 Programación de señales analógicas 50
Fig. 32 Construcción de la programación 51
Fig. 33 Duración de la corrida 52
Fig. 34 Simulación del condensador 53
Fig. 35 Configuración del sensor de nivel 53
Fig. 36 Escalamiento del sensor de temperatura 54
Fig. 37 Sensor de temperatura del tope 55
Fig. 38 Sensor de temperatura entrada condensador 55
Fig. 39 Sensor de temperatura salida condensador 56
Fig. 40 Configuración de Pantalla HMI 57
Fig. 41 Configuración del Display 57
Fig. 42 Conexiones de PLC 58
Fig. 43 Configuración de las variables 58
Fig. 44 Performance del PLC 59
Fig. 45 Resultados del PLC 59
Fig. 46 Vista final detallada del Proceso 60

Fig. 47 Configuración del PID 61
Fig. 48 Configuración del PID 61
Fig. 49 Configuración en el tipo de regulación 62
Fig. 50 Configuración en parámetros de entrada 62
Fig. 51 Configuración en los parámetros de PID 62
Fig. 52 Vista detallada de la simulación del PID 63
Fig. 53 Vista detallada de la primera simulación del PID 63
Fig. 54 Vista detallada de la segunda simulación del PID 64
Fig. 55 Vista detallada de la tercera simulación del PID 64

RESUMEN

Se implemento una programación para el evaporador, para el sistema no ideal de arrastre de vapor de aceite esencial de naranja y para su simulación se utilizó un programa en TIA Portal utilizando también Microsoft Excel como fuente de entrada de datos.

El control del sistema se realizó a la temperatura de proceso en respuesta al flujo de vapor inyectado para producir arrastre, que es la fuente de calor requerida para que ocurra este fenómeno.

El arrastre de vapor aplicado para la recuperación de AEN es una operación unitaria por lotes y se utiliza el método de Euler para derivar el sistema de ecuaciones diferenciales.

El programa reporta datos mediante tablas y gráficos de curvas de temperatura del sistema, masa almacenada, salida, nivel de líquido, calor entregado y recuperación en cualquier instante en función del tiempo por operación.

El programa de control nos muestra el comportamiento del sistema en respuesta a perturbaciones ocasionadas por el movimiento de la temperatura del set point (punto de control) y los gráficos de los fenómenos internos que ocurren, y nos permite comparar los parámetros del controlador PIDs.

Se simuló la extracción del aceite esencial en el equipo de destilación utilizando el software TIA portal.

En la simulación del destilador se puede ver el efecto y la cantidad del disolvente en el porcentaje de recuperación.

Palabras clave: Control de Procesos, aceite esencial, cítricos, arrastre con vapor.

ABSTRACT

A mathematical model of the evaporator was developed for the non-ideal steam entrainment system of lemon essential oil and to simulate it, a program in TIA Portal was used, also using Microsoft Excel as a data input source.

The system control was performed at the process temperature in response to the injected steam flow to produce drag. Which is the source of heat required for this phenomenon to occur.

The steam stripping applied for AEN recovery is a batch unit operation and the Euler method is used to derive the system of differential equations.

The program reports data using tables and graphs of curves of system temperature, mass stored, output, liquid level, heat delivered, and recovery at any instant as a function of time by operation.

The control program shows us the behavior of the system in response to disturbances caused by moving the temperature of the set point (control point) and the graphs of the internal phenomena that occur, and allows us to compare the parameters of the PIDs controller.

The extraction of the essential oil in the distillation equipment was simulated using the software on TIA Portal.

In the distiller simulation you can see the effect and amount of the solvent on the recovery percentage.

Keywords: Process Control, essential oil, citrus, steam stripping.

I. INTRODUCCIÓN

En Perú, el proceso más común para extraer el aceite esencial de naranja es una combinación de destilación por vapor, para extraer el aceite esencial en forma de jugo o miscela.

Durante el proceso de destilación del aceite esencial de naranja, se destila un poco de agua de la solución, se transporta por vapor y luego se condensa para separar el AE del agua. Bajo esto, se desarrolla el modelo de simulación y control para el proceso.

Los aceites esenciales son productos naturales utilizados en diferentes industrias, como la farmacéutica, alimentaria, cosmética entre otros. Actualmente el aumento por los productos naturales como alternativa a los productos químicos o sintéticos. También, la preocupación ambiental a hecho que se busquen alternativas ecológicas cuyo uso no entre en conflicto con el medio ambiente.

Este incremento de la demanda de aceites esenciales ha hecho que en la actualidad haya muchos estudios e investigaciones enfocados en la optimización y control del proceso de obtención de estos mismos. Con la finalidad de aumentar la producción, la eficiencia y el menor gasto de operación, surgen nuevas investigaciones de extracción, haciendo el uso de la tecnología actualmente.

Los tiempos de extracción, el consumo de energía y, a veces, de materias primas en particular, en el caso de los aceites esenciales, uno de los aspectos críticos es la cantidad muy baja de aceite esencial extraído durante el proceso de extracción.

Por lo tanto, una simulación de procesos es fundamentalmente importante como una herramienta eficaz para comprender y desarrollar el proceso de extracción del aceite esencial.

En este estudio se logró una mejora en los procedimientos de operación mediante el control y se logró una optimización en el proceso. Dando una mejora para el rendimiento del proceso por arrastre con vapor del aceite esencial de naranja (AEN).

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Aceites esenciales

Se estima que existen entre 350.000 y 400.000 especies de plantas. Una pequeña proporción (del 2 al 8%) de ellas se utiliza como alimento por los seres humanos y otras especies animales. Es posible que se utilicen muchas más con fines medicinales, ya que, si bien las 520 especies de plantas que se han utilizado como alimento por diferentes grupos de estadounidenses, 3.464 han encontrado uso como medicamentos. Según sus estimaciones, esto deja aproximadamente 17.000 especies de plantas que no se han utilizado ni como alimento ni como medicina [10].

El aceite vegetal y sus extractos se han utilizado para una amplia variedad de propósitos durante cientos de años. Estos propósitos varían desde el uso de palos de rosa y madera de sidra en perfumería, hasta el enriquecimiento de bebidas con aceite de hinojo, lima o bayas de enebro, y el uso de aceite de limón para la conservación de cultivos alimentarios almacenados.

En particular, la acción antimicrobiana del aceite vegetal y sus extractos ha dado forma a la base de numerosas aplicaciones, con protección de alimentos crudos y preparados, productos farmacéuticos, prescripción de opciones y tratamientos naturales.

Los aceites esenciales son concertados,hidrófoboLos líquidos que contienen fragancias inestables se mezclan con las plantas. Los aceites esenciales también se denominan aceites esenciales inestables, aceites etéreos o simplemente "aceites" de las plantas de las que se extrajeron, por ejemplo, el aceite de clavo. El aceite es "esencial" porque transmite una fragancia particular o la esencia de las plantas [5].

El aceite esencial se suele denominar la "fuerza vital" de las plantas. Estos "elementos vitales" se extraen de las flores, las hojas, los tallos, las raíces, las semillas, las cortezas y las pieles de los productos naturales. La cantidad de aceite esencial se puede obtener en cualquier lugar en el rango de 0,001 por ciento a 9 por ciento del total.

El aceite tiene potentes componentes antimicrobianos y contiene una amplia variedad de componentes útiles. Este tipo de aceite se utiliza a menudo por su

sabor y sus propiedades curativas en una gran variedad de productos, como alimentos, medicamentos y cosméticos. Solo los aceites puros contienen una amplia gama de ingredientes que las imitaciones cutres simplemente no pueden copiar [11].

Tabla 1 Diferentes materiales utilizados para la extracción de aceite

Hoja	**Flor**	**Cáscaras**	**Semilla**	**Bosque**
Basilea	Manzanilla	Bergamota	Almendra	Alcanfor
Hojas de laurel	Salvia sclarea	Toronjas	Anís	Cedros
Canela	Clavos de olor	Limón	Apio	Palos de rosa
Eucalipto	Geranio	Limas	Comino	Maderas de sándalo
Hierbas de limón	Hisopo	Naranja	Aceite de nuez moscada	
Melaleuca	Jazmines	Mandarina		
Orégano	Lavanda			
Pachulí	Manuka			
Menta	Mejorana			
Pinos	Naranja			
Rosas marías	Rosas			
Menta verde	Ylanng-Ylanng			
Árboles de té				
Gaulteria				
Tomillo				
Bayas	**Cortezas**	**Resinas**	**Rizomas**	**Raíces**
Pimienta de Jamaica	Casia	Incienso	Jengibres	Valeriana
Enebro	Canela	Mirra		

2.2. Componentes químicos del aceite extraído

Los aceites esenciales contienen 250 componentes químicos, pero pocos son generalmente impredecibles. Los aceites esenciales están compuestos por mezclas de sustancias que tienen oxígeno, carbono e hidrógeno como sus componentes básicos [12].

Se caracterizan básicamente en dos grupos:

Parte de volátil

Aceite esencial que contiene entre un 85% y un 90% de aceites en peso, constituidos por hidrocarburos monoterpénicos y sesquiterpénicos y ésteres.

Residuo no volátil

Contiene entre 1,0 y 10,0% de aceites que contienen hidrocarburos, ácidos grasos, ceras y flavonoides.

Por ejemplo, los componentes del aceite separado de la flora inicial varían según el lugar.

Estas plantas tienen raíces [10]. Estos componentes se dividen en dos grupos, por ejemplo, hidrocarburos compuestos principalmente por terpenos, que son compuestos oxigenados, que son básicamente aldehído, cetona, alcohol, éster y fenol. A continuación, se enumera un porcentaje de los componentes naturales junto con sus propiedades.

2.2.1. Lactonas

La lactona se forma por esterificación intermolecular del ácido hidrocarboxílico, que se coloca de forma continua en los anillos que se forman en anillos de cuatro o cinco números. Las lactonas con anillos de cuatro o cinco números (α-lactona y β-lactona) son bastante activas, por lo que la construcción de estas isomoraciones no es fácil. Básicamente, se necesitan para la amalgama en el laboratorio para lactonas decrecientes y miembros de carbono de gran número.

2.2.2. Cetonas:

Las cetonas que se encuentran en las plantas se utilizan para los problemas respiratorios. Ayudan a la circulación de los fluidos corporales y facilitan la obstrucción. Los aceites que contienen cetonas son beneficiosos para promover la curación de heridas, fortaleciendo la estructura de los tejidos dispersos. Las cetonas son extremadamente tóxicas.

Las cetonas más letales son la tuya recolectada en la artemisa, la sagge, el tanaceto, la tuya y los aceites de madera. Las cetonas letales recolectadas en el aceite de clavel son la pulegona de penyroyal y la pinocamona en hisopos. Pocas cetonas no tóxicas se encuentran en los aceites de jazmín.

2.2.3. Ácidos

En su mayor parte, el ácido orgánico se recoge en pequeñas cantidades en su fase libre dentro del aceite esencial. El ácido de las plantas actúa como segmentos o bien como estructuras de soporte que controlan el factor ácido. Esto también demuestra ser antiinflamatorio. Los ejemplos son el ácido cinámico, el ácido benzoico, el ácido benzoico y el ácido láctico.

2.2.4. Alcoholes

- Alcoholes monoterpénicos:

  Este aceite tiene mejores propiedades antisépticas, antivirales y antifúngicas, con poco efecto sobre problemas cutáneos y tóxicos, y tiene efectos refrescantes estimulantes. Ejemplos de este alcohol son principalmente el linalol, citronelol, terppineol, etc., extraídos de lavandas, rosas, geranios, enebros y aceites de árbol de té.

- Alcoholes sesquiterpénicos:

  Este tipo de alcohol no suele tener su origen en los aceites esenciales, cuando se encuentra, como el bisabolol, en

  La manzanilla alemana tiene más usos, entre los que se incluyen estimulantes hepáticos y glandulares, antialérgicos y antiinflamatorios. Otros aceites que contienen alcoholes sesquiterpénicos.

2.2.5. Diterpenos

El isopreno ha sido una parte necesaria en la gran mayoría de los segmentos, se encuentra en unidades de 4 isoprenos en los diterpenos. Con los métodos de destilación por vapor no podemos identificar los diterpenos, ya que estos átomos son tan sustanciales que no se podría considerar que desaparezcan, por lo que se pueden encontrar en el aceite esencial destilado. Los diterpenos se encuentran en todas las familias de plantas y contienen una mezcla de cadenas C20.

Se conocen alrededor de 2400 diterpenos que se dividen en 25 grupos básicos importantes. De manera similar a los monoterpenos, los diterpenos aparecen

como parte del sistema digestivo del pirofosfato de geranilo. Los diterpenos tienen una importancia terapéutica limitada y se utilizan como parte de ciertos narcóticos (tranquilizantes) y también en antiespasmódicos y ansiolíticos.

2.2.6. Lactonas sesquiterpénicas

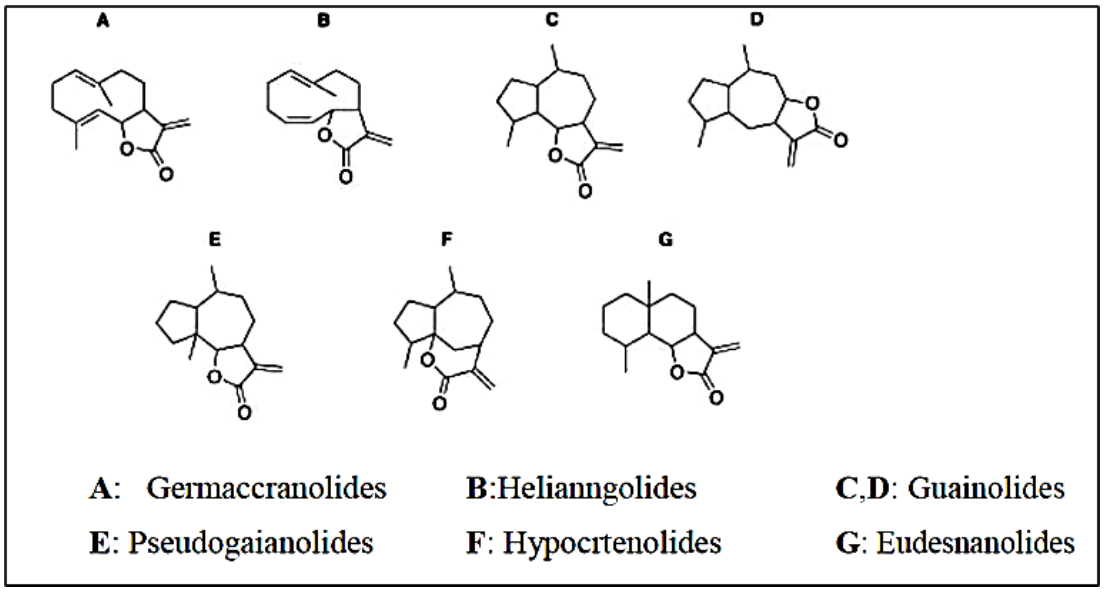


Fig. 1 Estructura de los diferentes componentes del sesquitterpeno

2.2.7. Terpenos:

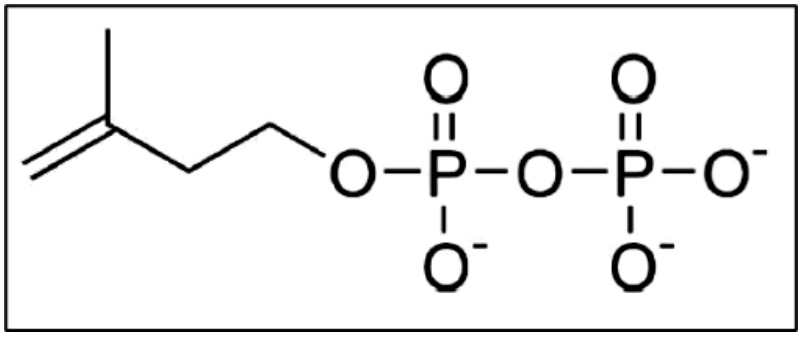


Fig. 2 Estructura de los terpenos

Estas partes en general tienen el nombre terminado con "enos". La mayoría son limonenos, pinenos, piperenos, canfenos, etc. Este segmento trata sobre antibacterianos, antivirales, antiprovocativos, limpiadores, antivirales y bactericidas. Este es un orden auxiliar.

En el punto donde 2 de las unidades de isoprenos están unidas a la cola y la cabeza, el resultado es monoterpeno, donde 3 están unidas a su sesquiterpeno y, correspondientemente, 4 unidades de isoprenos unidas son diterpenos.

2.2.8. Hidrocarburos

Los bloques constructores de aceites esenciales son hidrógenos y carbonos. Los hidrocarburos básicos recolectados en la planta son isoprenos que tienen estructuras acompañantes.

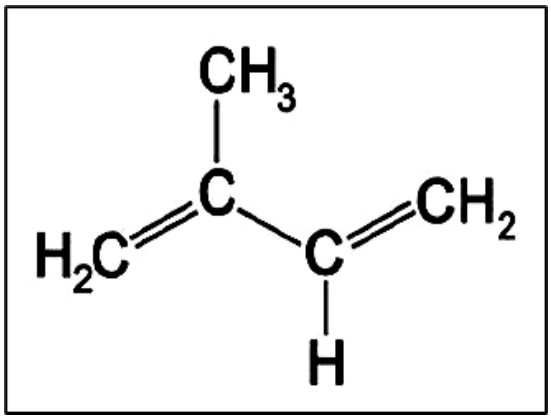


Fig. 3 Estructura de los terpenos

2.3. Beneficios del aceite esencial

Los aceites esenciales son útiles, rápidos y fáciles de usar. Puedes usarlos durante el día, difundirlos en tu hogar o lugar de trabajo o simplemente guardarlos en tu bolsillo. Los aceites esenciales se pueden usar como parte de un masaje de espalda y para mejorar la reflexión y la concentración.

Los aceites esenciales son sustancias naturales del fluido volátil de las plantas. Los aceites esenciales ayudan al cuerpo a recuperarse sin síntomas dañinos ni productos químicos. De todos modos, asegúrese de utilizar aceites esenciales de evaluación terapéutica, no aceites aromáticos que contengan sustancias químicas dañinas.

Las ventajas de los aceites esenciales incluyen que pueden penetrar rápidamente en la piel y las capas celulares. ¡Pueden difundirse por toda la

sangre y los tejidos de forma instantánea en cuestión de segundos! Los aceites atraviesan la barrera hematoencefálica y llegan a la amígdala y otras partes límbicas del cerebro que controlan nuestro estado de ánimo, emociones y creencias. Por lo tanto, pueden ayudarnos con nuestra capacidad para manejar el estrés, la ira o cualquier otra sensación que estemos experimentando.

2.3.1. Importancia de los aceites esenciales en la farmacéutica

Un porcentaje de las solicitudes se registran a continuación.

- Germicidas:

  La propiedad estéril de estos aceites crea una dinámica alineada con una amplia variedad de microorganismos en cepas seguras contra infecciones. No obstante, también se encuentran junto a parásitos o levaduras. Las fuentes más conocidas de este aceite utilizado como antiséptico pueden ser: canela, tomillo, trébol, eucalipto, lavanda. El citral, el geranio, el linalol y los timoles son mucho más intensos en comparación con los fenoles [13].

- Expectorante o diurético:

  Cuando se utiliza de forma remota, este aceite, como L'esencede terebennthine, expande la microcirculación o proporciona una actividad sedante local. En la actualidad, el aceite esencial se utiliza como parte de varios ungüentos, cremas y geles, donde se reconoce como extremadamente eficaz para calmar los dolores de esguince. La organización verbal para el aceite esencial de eucalipto o aceite de pino, vigoriza las células epiteliales ciliadas para descargar el líquido corporal. En términos generales, se sabe que esto crea vasodilatación y, como resultado, tiene un efecto diurético.

Las ventajas de los aceites esenciales incluyen que son ricos en antioxidantes. Sabemos que los antioxidantes fortalecen los sistemas del cuerpo para resistir los efectos nocivos del envejecimiento, la dieta y la naturaleza; y eliminan los radicales libres.

La Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno (ORAC), que le permite conocer el límite de defensa celular de un alimento, se registra para algunos aceites esenciales. El aceite de clavo tiene un valor ORAC de 1.078.700

µTE/100 g; esto es un millón más que el valor de las zanahorias, que es de 210 µTE/10.

2.4. Tipos de extracción

Los siguientes métodos se utilizan para extraer aceites esenciales.

2.4.1. Maceración

La maceración realmente produce una mayor cantidad de "aceite infusionado" en comparación con los aceites esenciales. Las materias vegetales se absorben en la tierra vegetal, se calientan o se estresan y, poco después, se pueden utilizar para frotar. Estos sistemas no son atractivos porque esto varía la disposición de los aceites.

2.4.2. Prensado en frío

Estos sistemas se utilizan para recolectar el aceite de las cáscaras de naranja, por ejemplo, naranjas, limones, pomelos y bergamotas. Estos sistemas incluyen exprimir la piel a unos 115 grados para recolectar los aceites. Estas cáscaras se diferencian en fruta, se muelen y se trituran o se exprimen.

Luego, los resultados son mezclas de aceites esenciales, líquidos que se separan en el momento correspondiente. Se produce un pequeño cambio en los estados: este aceite cítrico conserva su espléndido, fresco y estimulante olor como el de una fruta recién preparada.

2.4.3. Extracción de CO2 supercrítico

La extracción del CO2 supercrítico incluye CO2 calentado a 78 grados Ferrenhite por debajo de esta condición; CO2 se compara con un vapor pesado. Junto con la llegada del peso en cualquiera de las transformaciones, el dióxido de carbono se escapa en su estructura vaporosa, abandonando el aceite esencial.

El método estándar para la extracción es mediante el refinado al vapor. Después de la extracción, las propiedades de un aceite esencial de buena calidad deben ser lo más cercanas posible a la "encarnación" de la planta original.

El camino hacia un aceite esencial "decente" es mediante la transformación de bajo peso y baja temperatura. Las altas temperaturas, la transformación rápida y el uso de disolventes modifican la estructura subatómica, devastarán el valor útil y cambiarán el aroma [2].

2.4.4. Método de destilación al vapor

La destilación al vapor es un tipo especial de destilación o un proceso de separación para materiales sensibles a la temperatura, como aceites, gomas, hidrocarburos, etc., que son insolubles en agua y pueden deteriorarse en su punto de ruptura.

La naturaleza fundamental de la destilación al vapor es que permite refinar un compuesto o una mezcla de mezclas a una temperatura sustancialmente inferior a la del punto de ebullición del componente individual. Los aceites esenciales contienen sustancias con puntos de ruptura de hasta 200 °C o temperaturas superiores.

Por otra parte, en las proximidades del vapor o del agua burbujeante, estas sustancias se volatilizan a una temperatura cercana a los 100 °C, a peso atmosférico. El material botánico nuevo, o en algunos casos seco, se coloca en la cámara de plantas del alambique y se permite que el vapor pase a través del material vegetal bajo peso, lo que suaviza las células y permite que el aceite esencial escape en forma de vapor.

La temperatura del vapor debe ser lo suficientemente alta como para vaporizar el aceite presente, pero no tan alta como para arruinar las plantas o quemar los aceites esenciales.

Además del vapor, pequeñas perlas de aceite esencial se evaporan y viajan a través de un tubo hacia la cámara de condensación del alambique. Allí, los vapores de aceite esencial se juntan con el vapor y forman una película sobre la superficie del agua.

2.5. Destilación

2.5.1. Descripción general de la destilación

La destilación es el proceso de separación más antiguo y la unidad más utilizada. operación en la industria [14]. Ha sido un proceso importante para la humanidad desde las primeras civilizaciones. De hecho, los productos destilados han determinado e influyó en los desarrollos culturales de todo el mundo [15].

Los orígenes se remontan a miles de años atrás. Se cree que el arte de La destilación se originó en Alejandría, Egipto, en el siglo I antes de Cristo, cuando se utilizaba para la extracción de aceites esenciales de las plantas.

En los siglos siguientes se extendió ampliamente y, alrededor del año 1120, se ha utilizado para producir bebidas alcohólicas, por primera vez en el norte de Italia. Posteriormente, en el siglo XIX y, se desarrolló rápidamente impulsado por el creciente desarrollo del petróleo, la petroquímica, industria química y farmacéutica, convirtiéndose así en la dominante Proceso de separación a escala industrial.

En la antigüedad este término se utilizaba para indicar todas las técnicas de separación indiscriminadamente. Más tarde, se utilizó para indicar técnicas de separación basado en la sucesión de dos cambios de estado diferentes evaporación y condensación de un vapor. De hecho, la destilación es un proceso bien Unidad de separación definida que consiste en la evaporación parcial de un líquido mezcla y condensación sucesiva, con una composición que difiere de la evaporación.

La fase se denomina "destilado", más rica en componentes volátiles, mientras que la muestra restante, no condensada, se llama "residual" y es más rica en los componentes menos volátiles [16].

De hecho, la palabra “destilación” deriva del verbo latino “destillare o distillare”, que significa “dejar caer” o “goteo”, en referencia al goteo del producto de vapor condensado del condensador [17].

El equipo utilizado para la destilación floreció en Alejandría durante el Imperio Romano, y el aparato no cambió hasta el siglo XVI. Con el aumento del

conocimiento es posible gracias a la invención de la imprenta y a la mayor demanda de productos destilados, varios alambiques prosperaron.

Científicos franceses, ingleses Los industriales y artesanos alemanes trajeron el equipo al laboratorio y fomentó su aplicación industrial. Hasta que llegó la era moderna con el desarrollo de la información de alta tecnología ha hecho posible una difusión mucho más amplia imagen y desarrollo global a gran escala.

Actualmente existen varias tecnologías utilizadas para realizar la destilación, tanto a escala de laboratorio como industrial. Sin embargo, la mayoría de los métodos de destilación utilizados no son otros que variaciones de la destilación simple.

2.5.2. Teoría de la destilación

La destilación es una separación física basada en la vaporización de los diferentes componentes de la mezcla a separar. Normalmente, una mezcla Se calienta, se producen vapores, se separan y luego se vuelven a condensar en un líquido. Como resultado, cada componente se puede recuperar por separado en diferentes fracciones [18].

La destilación se basa en las diferencias de puntos de ebullición de los diferentes componentes y sobre las distribuciones de los mismos entre un líquido y un gas fase en la mezcla. Por lo tanto, la mezcla líquida puede tener diferentes puntos de ebullición.

Características puntuales en función de las concentraciones de los componentes presente en él.

El punto de ebullición está relacionado con la presión de vapor de las mezclas líquidas. La presión de vapor de un líquido a una temperatura particular es el equilibrio. presión ejercida por las moléculas que salen y entran de la superficie del líquido. El líquido hierve cuando la presión de vapor de la mezcla es igual a la presión circundante. Además, la facilidad con que hierve un líquido depende de su volatilidad. Los líquidos con altas presiones de vapor hervirán a temperaturas más bajas.

Cuanto mayor sea la volatilidad de un líquido, mayor será su tendencia a pasar de la fase líquida a la fase de vapor y, en consecuencia, cuanto menor sea el punto de ebullición.

La temperatura será. La destilación se logra debido a las diferencias en la volatilidad de los componentes de una mezcla líquida. Cuanto mayor sea la diferencia, mejor será la separación. Además, el vapor

La presión y, por lo tanto, el punto de ebullición de una mezcla líquida depende de las cantidades relativas de los componentes en la mezcla.

2.5.3. Presión de vapor

Algunos líquidos se evaporarán por completo con el tiempo si se dejan en un recipiente abierto a temperatura ambiente. Sin embargo, este proceso de evaporación se acelera significativamente si se calienta el líquido. A medida que se calienta el líquido, las moléculas dentro de él obtienen la energía para escapar de la fase líquida y transición a la fase gaseosa en forma de burbujas. Este fenómeno es llamado ebullición.

Consideremos un recipiente cerrado con líquido. Inicialmente, parte de este líquido se evapora, pero sólo hasta que la velocidad de vaporización es igual a la velocidad de condensación. Una vez alcanzado este punto, no hay más cambios en el sistema, y el líquido y el vapor están en equilibrio. Una vez que esto ha Se ha establecido que la presión ejercida por el vapor sobre el líquido es llamada presión de vapor.

Para una mezcla miscible que forma una solución homogénea, el vapor La presión de cada componente depende de la presión de vapor del componente puro y su fracción molar en la mezcla líquida según Ley de Raoult:

$$p_A = p^*_A x_A$$

donde p_A es la presión de vapor de un líquido componente en una mezcla líquida miscible, p^*_A es la presión de vapor de líquido puro, y es la fracción molar de ese líquido en la mezcla, que es igual a n_A/n_t .n_A es el número de moles del líquido individual en la mezcla, y n_t es el número total de moles de todos los líquidos en la mezcla.

La presión de vapor total sobre la mezcla de líquido miscible es igual a la suma de las presiones parciales de vapor de cada componente, que se conoce como ley de Dalton.

La presión de vapor de un líquido aumenta con la temperatura, a medida que más moléculas ganan energía cinética para escapar de la fase líquida a la fase gaseosa.

En una mezcla miscible que contiene dos líquidos, la presión total se puede describir como:

$$P = p_A + p_B,$$

donde pA y pB son las presiones de vapor del líquido A y del líquido B, respectivamente, P es la presión de vapor total de la mezcla.

Combinando las ecuaciones describen la relación entre la presión de vapor total de la solución y la fracción molar de los componentes individuales:

$$P = p^*_A x_A + p^*_B x_B$$

Por otro lado, en una mezcla inmiscible, donde los componentes forman una mezcla heterogénea, las presiones de vapor de cada componente contribuyen independientemente a la presión de vapor total. Por lo tanto, la presión de vapor total es igual a la suma de las presiones de vapor puras individuales.

En una mezcla inmiscible compuesta por dos líquidos, la presión total es definida como la presión de vapor del primer líquido más la presión de vapor de

El segundo líquido:

$$P = p_A + p_B$$

Además, para este tipo de mezclas se utiliza el proceso de destilación al vapor.

2.5.4. Punto de ebullición

La temperatura a la que una sustancia pasa de la fase líquida a la fase gaseosa se le conoce como punto de ebullición. En una mezcla de líquidos, la solución hierve cuando la presión de vapor total de la solución es igual a la presión atmosférica. Por lo tanto, el punto de ebullición de una mezcla se produce en una temperatura entre los puntos de ebullición de los dos líquidos puros.

La mezcla se calienta hasta su punto de ebullición, algunas de las moléculas escapan. fase líquida y entrar en la fase gaseosa. La temperatura a la que se produce las primeras burbujas comienza a formarse en una solución miscible que se está calentando a temperatura del “punto de burbuja”.

Como resultado, la fase gaseosa es rica en moléculas del componente más volátil, o del componente con la mayor presión de vapor y menor punto de ebullición. El número de moléculas que se evapora aumenta a medida que se aplica más calor.

Por lo tanto, la fase líquida es rico en moléculas del componente menos volátil, o el componente con menor presión de vapor y mayor punto de ebullición. El momento en el que comienzan a formarse las primeras gotas de líquido durante la destilación se conoce como el “punto de rocío”.

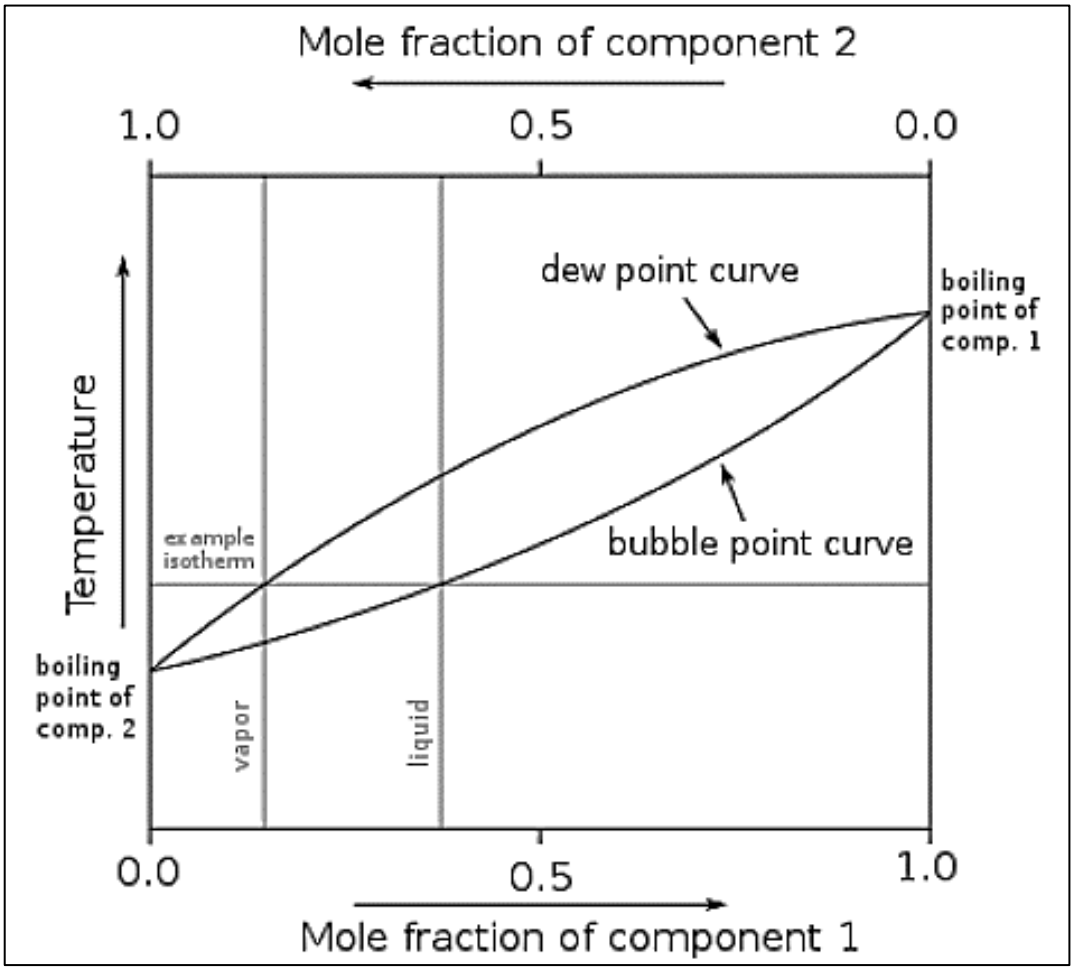


Fig. 4 Diagrama de equilibrio vapor-líquido.

2.5.5. Volatilidad relativa

La volatilidad relativa es una medida de las diferencias de volatilidad entre dos componentes, y por lo tanto sus puntos de ebullición. Indica cuán fácil o Difícil será una separación particular. La volatilidad relativa de componente “a” con respecto al componente “i” se define por la siguiente relación:

$$a_{ij} = [Xi/Yi]/[Xj/Yi]$$

dónde Yi es la fracción molar del componente “i”en el vapor, y la fracción molar del componente “Xi” en el líquido. Podemos concluir que si la volatilidad relativa entre dos componentes es muy cercana a uno, es una indicación de que tienen características de presión de vapor muy similares. Esto significa que tienen puntos de ebullición muy similares y por lo tanto, será relativamente difícil separar los dos componentes por medio de destilación.

2.5.6. Clasificación de los métodos de destilación

Existen muchas técnicas de destilación y la clasificación se basa en el tipo de equipo utilizado que, a su vez, debe elegirse en función de las características de la fase inicial a destilar. En base al método, la destilación se puede realizar a escala de laboratorio e industrial, con diferentes tipos de equipos.

Las técnicas más utilizadas son:

• Destilación simple;

• Destilación fraccionada;

• Destilación al vacío;

• Destilación al vapor;

• Destilación azeotrópica.

En el proceso de destilación simple, un compuesto volátil se evapora y canalizado a través de una columna de destilación hasta un condensador, donde es finalmente capturados. Esta técnica se puede utilizar para separar mezclas. que contienen compuestos no volátiles como partículas y mezclas con diferencias de al menos 70 °C en los puntos de ebullición.

Se utiliza la destilación fraccionada para separar mezclas con una volatilidad relativa casi igual y una cantidad tan pequeña diferencia de puntos de ebullición de 25 °C. Las columnas de destilación fraccionada consisten de una serie de bandejas, en las que se encuentran los líquidos de punto de ebullición más bajo y más alto. se recogen en la parte superior e inferior de la columna, respectivamente.

Este proceso Se utiliza comúnmente en las industrias petroleras y alimentarias debido a su mejor eficiencia en comparación con la destilación simple. La destilación al vacío separa mezclas a una temperatura mucho más baja que la atmosférica punto de ebullición, por lo que se emplea principalmente para puntos de ebullición altos. disolventes como dimetilsulfóxido, alcohol bencílico, etilenglicoles y glicerol.

Las técnicas de destilación al vapor se utilizan para separar los gliceroles sensibles al calor. compuestos. Por lo general, se introduce vapor a la mezcla, lo que provoca vaporización a temperatura inferior a la temperatura de descomposición del compuesto sensible al calor.

Este proceso se utiliza comúnmente en la producción de perfumes, aceites esenciales y ceras. Al final, la destilación azeotrópica se utiliza en sistemas de recuperación de disolventes multipropósito para mezclas, cuya separación está limitada termodinámicamente por la presencia de mezclas azeotrópicas.

A menudo, la adición de otro componente llamado el "incorporador" facilita la separación. Un incorporador es un agente separador de masas. que altera la volatilidad relativa de las mezclas y, por lo tanto, facilita el proceso de separación. Por ejemplo, el benceno se utiliza a menudo como agente de arrastre. para facilitar la separación de etanol y agua [19].

2.6. Destilación por vapor

La destilación al vapor es un tipo particular de destilación, que se utiliza para la recuperación de compuestos volátiles con alto punto de ebullición, desde inertes hasta complejos matrices, sólidas o líquidas, utilizando vapor saturado o sobrecalentado como agente de separación y energía.

La destilación al vapor es sin duda los métodos más utilizados para la extracción de aceite esencial de plantas.

2.6.1. Proceso de destilación por vapor

El proceso utiliza vapor como agente de extracción para vaporizar o liberar el compuesto volátil de la materia prima. Los compuestos se volatilizan mediante absorben calor del vapor y son transportados al vapor donde se difunden. En el caso de los aceites esenciales, la liberación de compuestos volátiles presente en las glándulas sebáceas (células) se debe al estallido de las paredes de las células sebáceas causada por el aumento de la presión de calor indujo la expansión del contenido de la celda de aceite.

El flujo de vapor actúa como portador del aceite esencial moléculas. La fase de vapor resultante se enfría y se condensa antes de la separación. El destilado condensado consiste en una mezcla de agua y aceite, el aceite se separa del agua mediante un matraz florentino, que los separa en función de sus diferentes densidades.

Por lo tanto, dos productos se obtienen: aceite e hidrosol. El aceite volátil (aceite esencial) se encuentra en la parte superior. fase y el hidrosol está en la fase inferior [16].

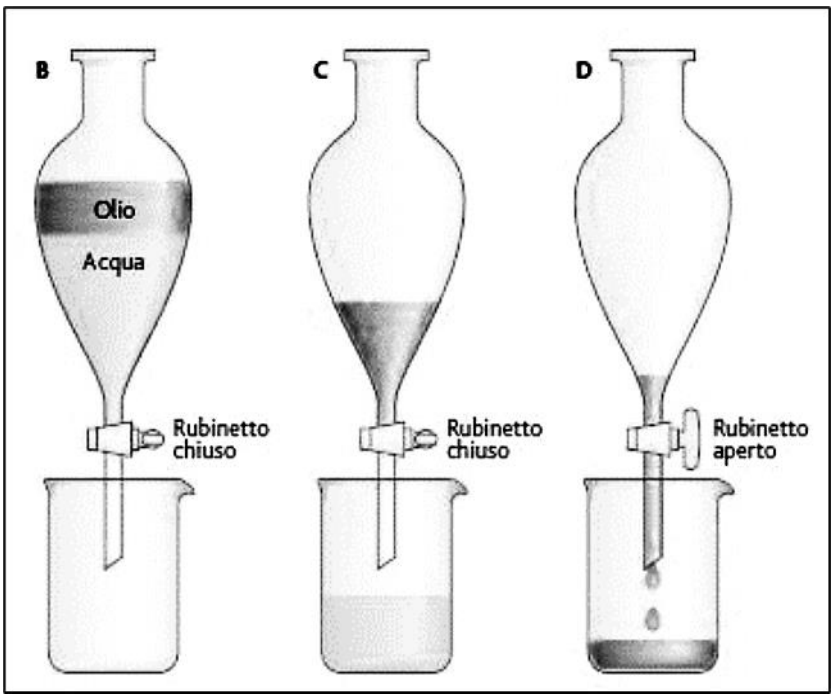


Fig. 5 Separación de aceite y agua por matraz florentino

Por lo tanto, considerando la forma del contacto entre el agua y se promueve la matriz original, terminología que distingue en dos grandes grupos.

Se han propuesto diferentes tipos de destilación:

- Hidrodestilación,
- Destilación al vapor.

En el proceso de hidrodestilación, el material vegetal se destilará completamente sumergido en agua hirviendo. A veces, se lo denomina “indirecto” destilación por vapor o “destilación por agua”.

La característica de este proceso consiste en que hay contacto directo entre el agua y la materia prima. El material vegetal se remoja en agua calentada hasta que hierve. ya sea flotando o estando completamente sumergido dependiendo de su densidad.

Puede ser necesaria la agitación para evitar la aglutinación. El vapor resultante del agua hirviendo arrastra consigo los aceites volátiles y la condensación posteriormente separa el aceite del agua.

La destilación al vapor se denomina destilación al vapor "directa". En este caso, la matriz se apoya sobre una rejilla o pantalla perforada insertada ligeramente por encima el fondo del alambique.

Este esquema no permite el contacto directo con agua, mientras que la caldera puede estar dentro o fuera del alambique. Cuando está en el exterior se denomina “destilación con vapor seco”, el vapor se produce en una caldera y se sopla a través de un tubo hasta el fondo del recipiente.

La caldera está en el interior y el vapor se genera en el fondo del recipiente. debajo de la bandeja perforada, se puede llamar “destilación de agua/vapor”, en este caso se utilizan tanto agua como vapor, también en este caso el material vegetal no está en contacto directo con el agua.

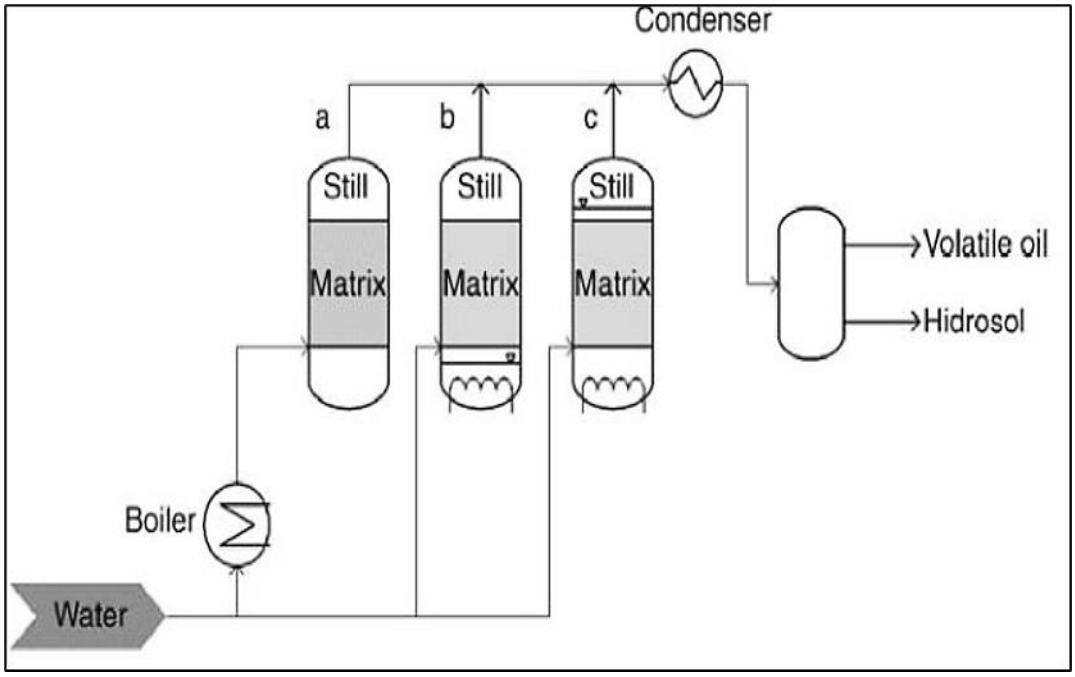


Fig. 6 Diagrama de flujo generalizado

- Diferentes tipos de destilación con vapor (a: destilación con vapor o destilación con vapor seco; b: destilación con vapor o destilación agua/vapor; c: hidrodestilación) [20].

2.6.2. Teoría de la destilación por vapor

La teoría de la destilación al vapor es que dos líquidos inmiscibles (por ejemplo, agua y aceite) A y B forman dos fases separadas.

En este caso, las presiones de vapor de cada componente independientemente contribuyen a la presión de vapor total. Por lo tanto, la presión de vapor total La presión es igual a la suma de las presiones individuales de vapor puro:

$$P_{tot} = P_a + P_b$$

En consecuencia, la temperatura de ebullición de la mezcla es inferior a la temperatura de ebullición única de A y B.

Dado que cada componente individual contribuye de forma independiente, se necesita menos calor para elevar el vapor total presión a presión atmosférica.

2.6.3. Planta de destilación por vapor

En todo el mundo abundan las plantas de destilación por vapor de diversos diseños. Algunos países en desarrollo todavía se utilizan métodos tradicionales y, a veces, bastante primitivos. Los países industrializados emplean equipos tecnológicamente más evolucionados y complejos.

La destilación al vapor es el método más utilizado a escala industrial [21]. Una planta de destilación por vapor moderna consta del contenedor de biomasa (alambique), un sistema de enfriamiento (condensador), un separador de aceite y un alto generador de vapor de capacidad.

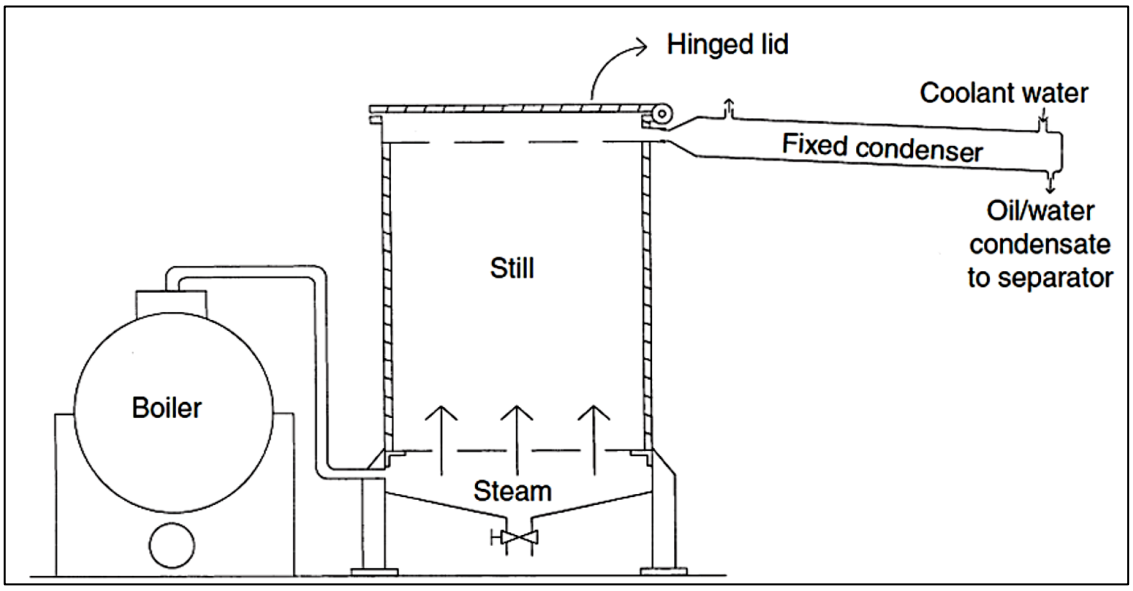


Fig. 7 Sistema de destilación por vapor a escala industrial

Un generador de vapor de alta capacidad se utiliza generalmente a escala industrial, mientras que No se utiliza a escala de laboratorio. En este caso, el vapor se genera mediante una fuente de calor debajo de la caldera, o lo más común es utilizar la variante de destilación al vapor, la hidrodestilación en un equipo tipo Clevenger.

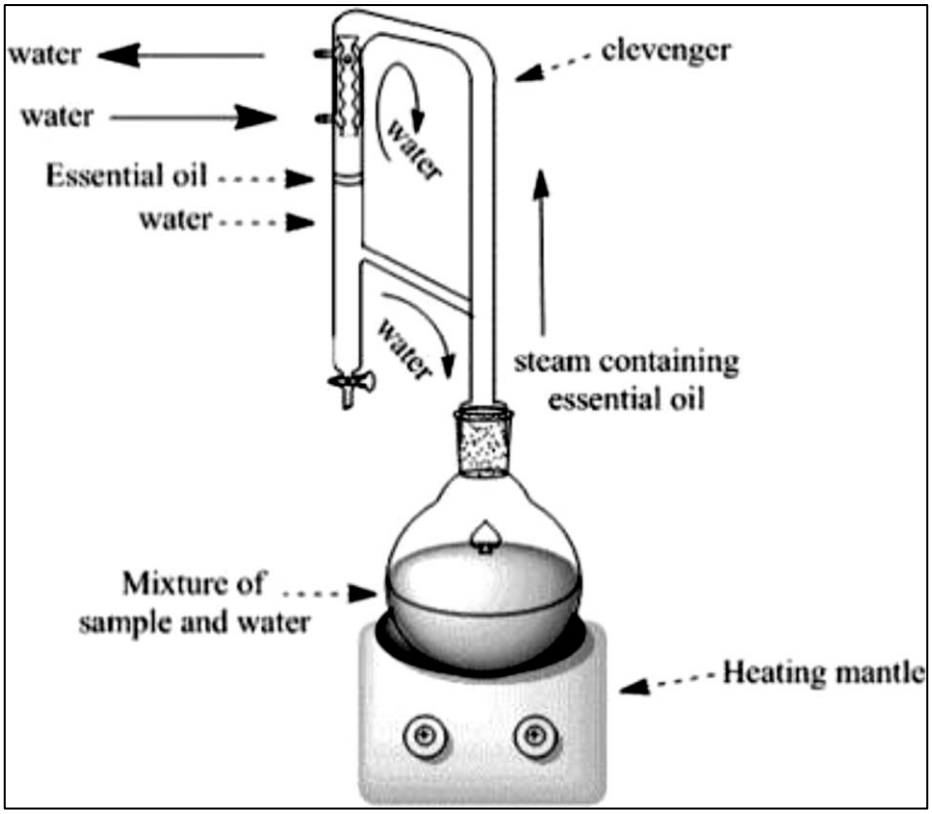


Fig. 8 Sistema de hidrodestilación Clevenger *[22]*

A menudo se utilizan placas perforadas similares a tamices para separar la biomasa y evitar la compactación, permitiendo así que el vapor acceda sin obstáculos a la materia prima.

La salida del vapor cargado de petróleo suele estar incorporada en el diseño de la tapa de la olla, generalmente hemisférica y con bisagras, luego pasa a través del sistema de enfriamiento, ya sea un intercambiador de calor de placas. o un intercambiador de calor de superficie, como un condensador de agua fría.

El condensado líquido se separa en aceite esencial y agua de destilación en un separador de aceite adecuado, como un matraz florentino. El agua puede, en algunos casos, redestilarse y recuperarse cualquier aceite esencial secado y almacenado [16].

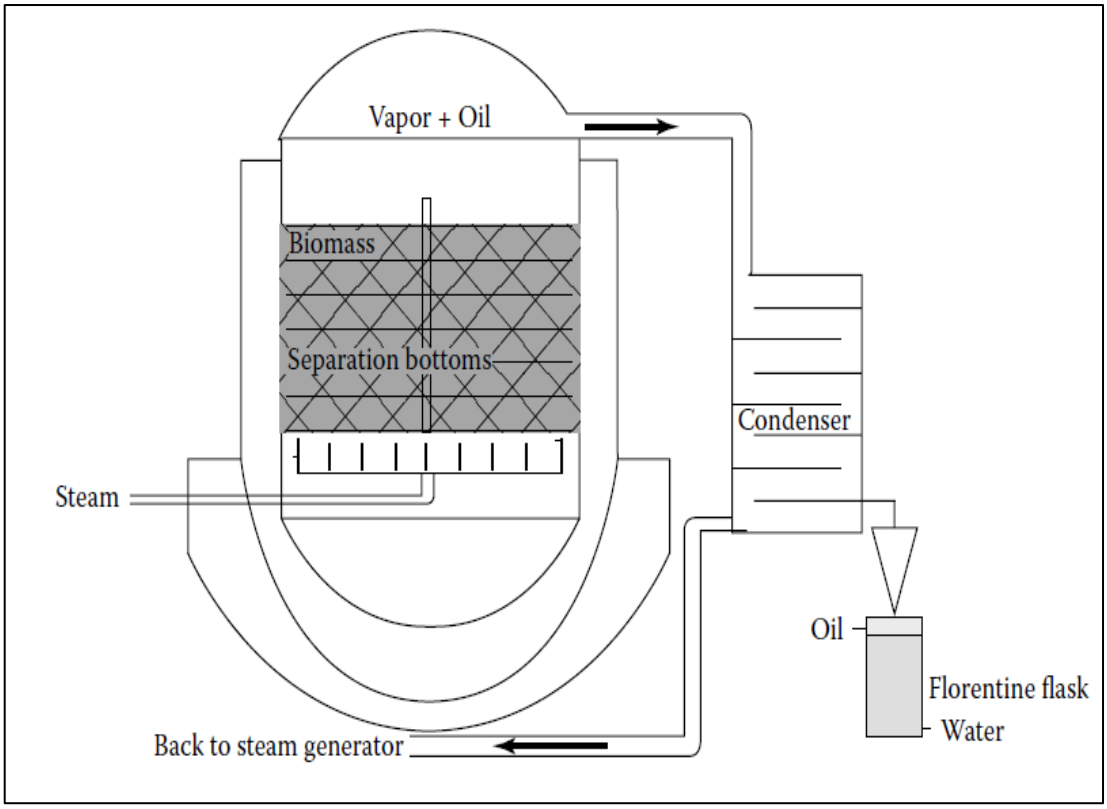


Fig. 9 Sección transversal de la hidrodestilación a escala industrial *[2]*

2.7. Uso de destilación por vapor

La destilación al vapor y sus variantes son los métodos tradicionales utilizados para la Extracción de compuestos bioactivos de fuentes naturales [23].

Es una de las principales tecnologías de extracción convencionales para la recuperación de aceites esenciales de plantas aromáticas que es el principal producto importante obtenido de proceso de destilación. Sin embargo, se pueden obtener cinco productos distintos durante la destilación de plantas aromáticas: aceite esencial, biomasa destilada, cenizas. de la unidad de destilación, agua residual e hidrosol.

Aceites esenciales y los hidrosoles son ampliamente estudiados por la investigación y se utilizan en varias industrias como las industrias cosmética, farmacéutica y nutracéutica por sus propiedades. Sin embargo, algunos estudios resaltaron y profundizaron el potencial del agua residual también dentro de la planta de destilación por vapor.

En este sentido, la destilación al vapor podría aplicarse como método para la recuperación compuestos de valor añadido de diferentes matrices orgánicas, por ejemplo, desechos alimentarios [24].

Actualmente, en el concurso de la investigación científica la destilación se considera un método antiguo de uso y, a menudo, solo se utiliza se utiliza para comparar con otras extracciones emergentes.

Sin embargo, vale la pena desarrollar la destilación por vapor de agua por las ventajas que tiene sobre otras tecnologías como, por ejemplo, la simplicidad de ejecución y el costo relativamente bajo de instalación [25].

2.7.1. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos se pueden definir como fitoquímicos capaces de regular funciones metabólicas que conducen a efectos beneficiosos. Son secundarios metabolitos que se encuentran en pequeñas cantidades en varias plantas y también se obtiene de forma natural a partir de algas, alimentos y subproductos.

Se ha demostrado ampliamente que tiene un impacto positivo en la salud y el bienestar humanos, debido a las muchas propiedades que presentan como antiinflamatorias, antioxidante, antimutagénico, anticancerígeno, antialérgico, anti-actividades inflamatorias y antimicrobianas.

Se han utilizado como ingredientes para desarrollar nuevos productos alimenticios funcionales con altos índices de interés y aceptación del consumidor y estos también podrían usarse como nutracéuticos en productos medicinales y farmacéuticos.

Por esta razón, están recibiendo mucha popularidad en varios sectores comerciales. como las industrias alimentaria, química y farmacéutica. Todas las plantas componentes, como hojas, raíces, cortezas, tubérculos, maderas, gomas o oleorresina, exudados, frutos, higos, flores, rizomas, bayas, ramitas y toda la planta produce sustancias químicas activas en cantidades más pequeñas y en concentraciones variables.

Por lo tanto, el proceso de extracción juega un papel importante en la recuperación de compuestos bioactivos y la correcta elección del proceso de

extracción es un punto crucial para maximizar el extracto de las plantas. Sin embargo, existe una creciente preocupación de la comunidad científica para desarrollar métodos ambientalmente sostenibles para la extracción de compuestos bioactivos, ya que estos métodos reducen o eliminan el uso de disolventes orgánicos nocivos para el medio ambiente, contribuyendo a la seguridad, calidad y aplicabilidad de los extractos de plantas.

Las principales clases de compuestos bioactivos son:

- Terpenos y terpenoides (aproximadamente 25.000 tipos),
- Alcaloides (alrededor de 12.000 tipos),
- Compuestos fenólicos (alrededor de 8000 tipos) [26].

Los compuestos bioactivos pertenecen a una de las familias reportadas, cada una de las cuales que tiene características estructurales que surgen de la forma en que son acumulada en la naturaleza (biosíntesis).

Hay cuatro vías principales para Síntesis de metabolitos secundarios o compuestos bioactivos: Ácido shikímico, vía del ácido malónico, vía del ácido mevalónico y no vía del mevalonato (MEP).

En detalle, los terpenos se caracterizan por un esqueleto carbonado de una unidad de isopreno y los compuestos terpenoides son terpenos modificados que también contienen otros grupos funcionales, comúnmente oxígeno; ejemplos de estos compuestos son limoneno, carvona, escualeno, humuleno, licopeno, (α-, β-, γ-) caroteno y vitamina A.

Los alcaloides se caracterizan por un átomo de nitrógeno en un anillo heterocíclico; en adición al carbono, hidrógeno y nitrógeno, también pueden contener oxígeno, azufre y otros elementos; ejemplos de compuestos alcaloides son quinina, cafeína, piperina, nicotina y teobromina.

Al final, la característica estructural básica de los compuestos fenólicos es una anillo aromático de grupos hidroxilo; ejemplos de compuestos fenólicos son ácidos fenólicos, flavonoides y taninos. Estos compuestos tienen un alto contenido actividad antioxidante [18].

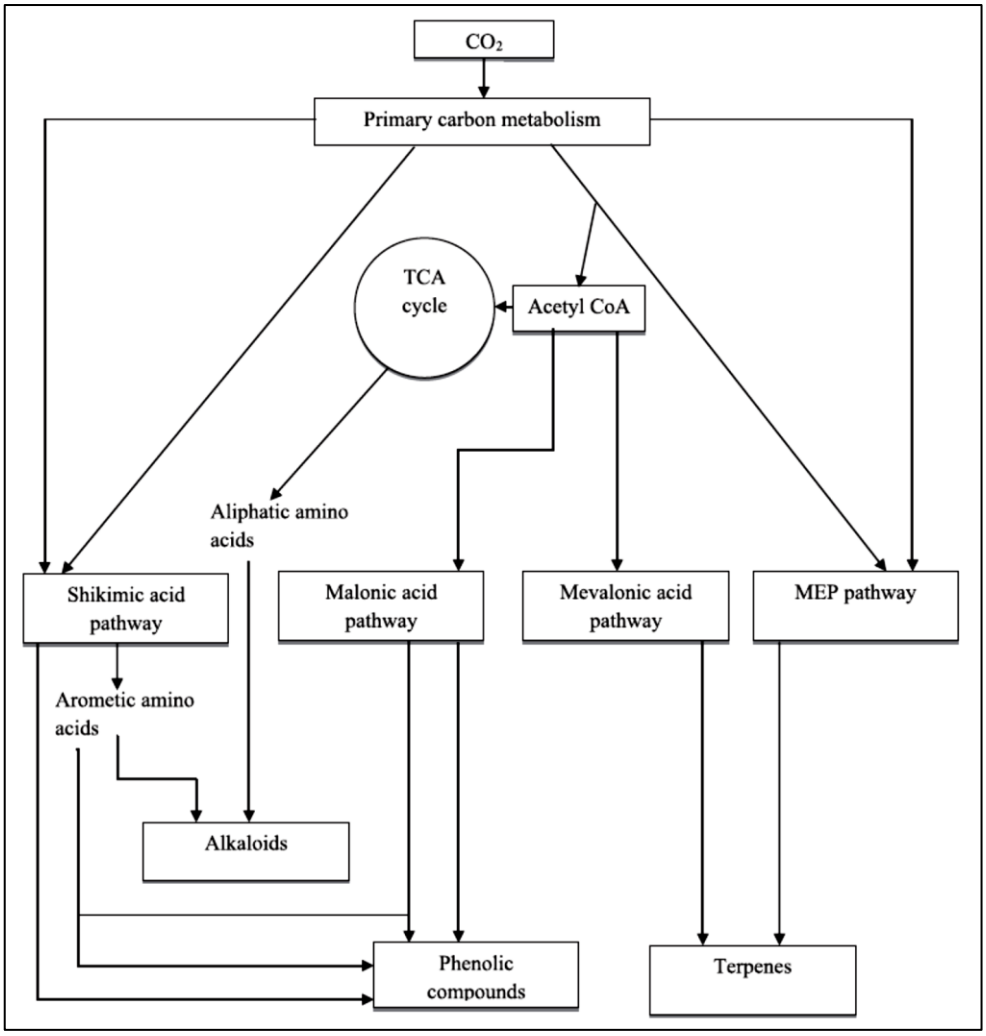


Fig. 10 Vista simplificada de las vías de producción

2.7.2. Terpenos y terpenoides

Los terpenos y sus derivados oxigenados, los terpenoides, se sintetizan principalmente por las plantas y se encuentran en flores, frutas, árboles y especias. Son una de las familias más grandes de productos naturales sintetizados como secundarios metabolitos [27].

Químicamente, los terpenos se agrupan debido a su característico esqueleto carbonado, que consta de un esqueleto básico de cinco carbonos, unidad de isopreno (2-metil-1,3-butadieno).

Los terpenos generalmente son compuestos por dos, tres, cuatro o seis unidades de isopreno. Estas se denominan monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos y triterpenos, respectivamente [28].

Los terpenoides son el grupo más importante de productos naturales como en lo que respecta a los aceites esenciales [3]. Químicamente, los terpenos en los aceites esenciales se pueden dividir en dos clases, los mono- y sesquiterpenoides, que difieren en su rango de punto de ebullición (monoterpenoides p.e. 140-180 °C, sesquiterpenoides p.e. .200 °C).

2.7.3. Aceite esencial

Los aceites esenciales pueden definirse de manera sencilla como la fracción predominante volátil y olorosa aislada por algún proceso físico de materiales vegetales.

Los aceites esenciales puros son mezclas de más de 200 compuestos orgánicos clasificables en dos grupos: los volátiles compuestos, como hidrocarburos monoterpénicos y sesquiterpénicos, y sus derivados oxigenados, que constituyen el 90-95% del aceite en peso y los compuestos no volátiles como los hidrocarburos, los ácidos grasos, esteroles, carotenoides, ceras y flavonoides, que constituyen el 1-10 % del peso del aceite.

Los aceites esenciales aislados e identificados de un gran número de especies de plantas ascienden a más de 3000, y de éstas, varias Se producen cientos de ellos comercialmente. Se aíslan de varias plantas. componentes como hojas, frutos, corteza, raíces, madera, duramen, goma, bálsamo, bayas, semillas, flores, ramitas y brotes.

La cantidad de el aceite esencial recuperado en las plantas puede variar entre el 0,01 y el 10% del total de la masa y varios factores afectan su disponibilidad, como los factores agrícolas, y el medio ambiente, el clima, las condiciones del suelo, la época de cosecha y manejo poscosecha previo al aislamiento.

Además, la extracción el proceso juega un papel vital tanto en el rendimiento como en la calidad de los aceites esenciales, especialmente por su baja cantidad en las plantas.

Además, es importante decir que las condiciones antes mencionadas pueden producir variaciones en el perfil químico de un aceite esencial de la misma planta.

Los quimiotipos de algunas plantas varían sustancialmente en la composición química del aceite esencial. Un ejemplo destacado de ello es el romero. (Rosmarinus officinalis), de la que existen tres quimiotipos.

El tipo borneol, que contiene una mayor cantidad de alcanfor, se cultiva en España y la antigua Yugoslavia; el tipo cineol tiene un alto contenido de cineol. contenido y se cultiva en África; y el tipo verbenona tiene un alto contenido verbenona y se cultiva en Francia y Córcega.

En la actualidad, la producción y el consumo de aceites esenciales está en rápido crecimiento debido al interés de los consumidores en sus diversos efectos biológicos, es decir, propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antivirales y antitumorales.

Por estas razones los aceites esenciales son de gran interés en la industria alimentaria, cosmética y farmacéuticas desde su posible uso como aditivos naturales.

2.7.4. Hidrolato

Los hidrosoles se encuentran en la literatura bajo varias etiquetas, entre ellas: hidrosol, hidroflorato, residuos aromáticos vegetales, agua aromática, agua floral, aguas aromáticas esenciales. Se obtienen durante el proceso de extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas. Son bastante complejos. mezcla que contiene trazas de aceites esenciales (normalmente menos de 1 g/L) y varios componentes solubles en agua.

Están constituidos por el agua de condensación del proceso de destilación y por agua polar, oxigenada, componentes de aceite volátiles, hidrófilos y que imparten olor y que forman hidrógeno. se une al agua. Contiene numerosos compuestos bioactivos, como alcaloides, terpenos y polifenoles.

Durante mucho tiempo, los hidrosoles se han definido como productos de desecho del vapor. Recientemente, han atraído la atención de la comunidad científica por su efecto antioxidante, antiinflamatorio, propiedades antimicrobianas. Varios estudios informan del uso de hidrosoles en diferentes campos de aplicación como el cosmético, farmacéutico e industrias alimentarias.

2.8. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos químicos derivados del metabolismo secundario de las plantas caracterizado por sus estructuras que tienen al menos una unidad de fenol. Se producen a través de la vía del ácido shikímico en las plantas como metabolitos secundarios generalmente involucrados en la adaptación de las plantas a las condiciones de estrés ambiental y desempeñan diferentes funciones específicas en la supervivencia de las plantas como protección contra los rayos UV, los insectos y patógenos, entre otros.

Basado en sus estructuras químicas, los compuestos fenólicos se pueden dividir en diferentes subgrupos, como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, cumarinas, lignanos, quinonas, estilbenos y curcuminoides.

Están ampliamente distribuidas en el reino vegetal y son en parte conocidas por sus numerosas actividades biológicas, principalmente como antioxidantes, pero también como anti- inflamatorios, antienvejecimiento, citotóxicos y antitumorales, antidepresivos y por estas razones, son moléculas muy atractivas en campos como farmacia, cosmética, agricultura o agroindustria.

2.8.1. Compuestos fenólicos de subproductos agroindustriales

Las industrias alimentarias producen una gran cantidad de residuos en todas las fases de los alimentos. ciclo de vida, es decir, durante la producción agrícola, la fabricación industrial, procesamiento y distribución. Los desechos y subproductos industriales contienen componentes de gran valor que también pueden ser fitotóxicos. Por ello, necesitan procesos específicos para su eliminación adecuada que a menudo requieren un gasto económico o una mano de obra altamente calificada.

Durante la última década, los avances en el conocimiento y la necesidad de reducir Los impactos ambientales han estimulado la investigación de formas alternativas de utilizar estos residuos.

Algunos subproductos resultan aún ricos en bioactivos beneficiosos para la salud. Moléculas como fibra, ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas [45]. Así, la valorización de los subproductos agroindustriales es interesante tanto desde el punto de vista ambiental como económico, ya que contribuye a la

reducción de los impactos ambientales negativos debidos a su eliminación, y por la recuperación de compuestos de alto valor añadido que tienen muchas aplicaciones biotecnológicas [29].

Las distintas industrias agroalimentarias generan distintos residuos durante su producción. Por ejemplo, las industrias del café producen una gran cantidad de residuos, principalmente posos de café y cáscara plateada del café.

El orujo de uva representa el principal subproducto de la industria del vino y se compone principalmente de piel, pulpa y semillas [48]. El orujo de aceituna, el hueso y Las hojas de olivo son los residuos sólidos que se producen durante la extracción del aceite de oliva. producción.

Estos son algunos ejemplos de residuos producidos por las industrias agroalimentarias que cada año producen millones de toneladas de residuos orgánicos. La actual estrategia para el uso de estos residuos en tres sectores principalmente: biomasa para alimentos y piensos, productos de origen biológico industriales y bioenergía.

En los últimos años, es necesario encontrar alternativas de aplicación para valorizar estos tipos de residuos y permitir mantener el valor de los productos y materiales durante el mayor tiempo posible, minimizando el uso de recursos y el desperdicio.

Varios estudios demostraron que estos residuos podrían contener compuestos bioactivos interesantes que pueden utilizarse en diferentes campos de aplicación. Por ejemplo, los pozos de café usados contienen grandes cantidades de compuestos valiosos, como la cafeína y los ácidos clorogénicos.

La cafeína es sin duda el compuesto más estudiado, dada su amplia efectos psicoactivos conocidos y su acción excitante sobre el metabolismo, por otra parte, varios estudios informan de la fuerte actividad antioxidante in vitro de ácidos clorogénicos, que son el componente principal de los fenólicos fracción de semillas de café verde.

Por otro lado, la oleuropeína, el aceite de oliva contiene hidroxitirosol, tirosol y otros compuestos subproductos y sus numerosas propiedades como antioxidante, Los antimicrobianos y antiinflamatorios son ampliamente

conocidos y utilizados como suplementos dietéticos, nutracéuticos, ingredientes alimentarios funcionales o cosmecéuticos.

2.9. Pros y contras de la destilación al vapor

La destilación al vapor a menudo se considera una técnica sencilla y generalmente, se utiliza únicamente como método de referencia para comparar tecnologías de extracción emergentes. Sin embargo, como informan Galanakis et al., 2020 [25] esta tecnología clásica reporta varias ventajas, tales como:

• el método genera productos orgánicos libres de disolventes,

• no hay necesidad de pasos de separación posteriores,

• tiene una gran capacidad de procesamiento a escala industrial,

• el equipo es económico y

• existe un amplio conocimiento disponible para esta tecnología.

Por otro lado, las principales desventajas incluyen:

• los compuestos sensibles podrían degradarse térmicamente y/o hidrolizarse,

• se requieren tiempos de extracción muy largos (1–5 h),

• alto consumo de energía.

III. RESULTADOS

3.1. Pruebas por el método de arrastre de vapor

La presente prueba se realiza en los ambientes de la Facultad de Ingeniería Química y Textil (FIQT) de la Universidad Nacional de Ingeniería en el área de Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU).

Se peso 5 kg para la prueba, ya que la capacidad del equipo es de 5 Kg. Se obtuvo la materia prima de la recolección de los desechos de parte de los vendedores ambulantes que venden jugos en las distintas calles de la ciudad.



Fig. 11 Cáscara de naranja



Fig. 12 Pesaje de la muestra

En la parte de al fondo se agrega agua la capacidad del tanque es de 12 litros se cubre con una malla metálica con soporte para separar el agua de la materia prima.



Fig. 13 Vista de la columna

3.1.1. Especificaciones del equipo

Capacidad de materia prima = 5 Kg

Capacidad de agua en el tanque = 12 litros

Resistencia eléctrica = 2500 Kw

Sensores de temperatura: 2 termocuplas

Condensador a contracorriente.



Fig. 14 Vista general de la columna

El inicio de la prueba comenzó a las 10:10 am y culminó a las 11:16 am al terminar la descarga del aceite esencial de cascara de naranja, se obtuvo en total 59 ml de aceite esencial de naranja, también 3 litros y medio de agua condensada.

Se estuvo tomando los datos de los sensores de la parte de al fondo y el tope, como también la temperatura de entrada y de salida del condensador. Se puede ver en la figura 15.



Fig. 15 Instalación del sensor de temperatura

Durante el tiempo que duro la prueba se tomaron los datos de las termocuplas y medidas del florentino para obtener una data correcta lo cual se pudo comprobar el funcionamiento del equipo.

Se puede ver en las figuras 6, 7 y 8.



Fig. 16 Visor del sensor

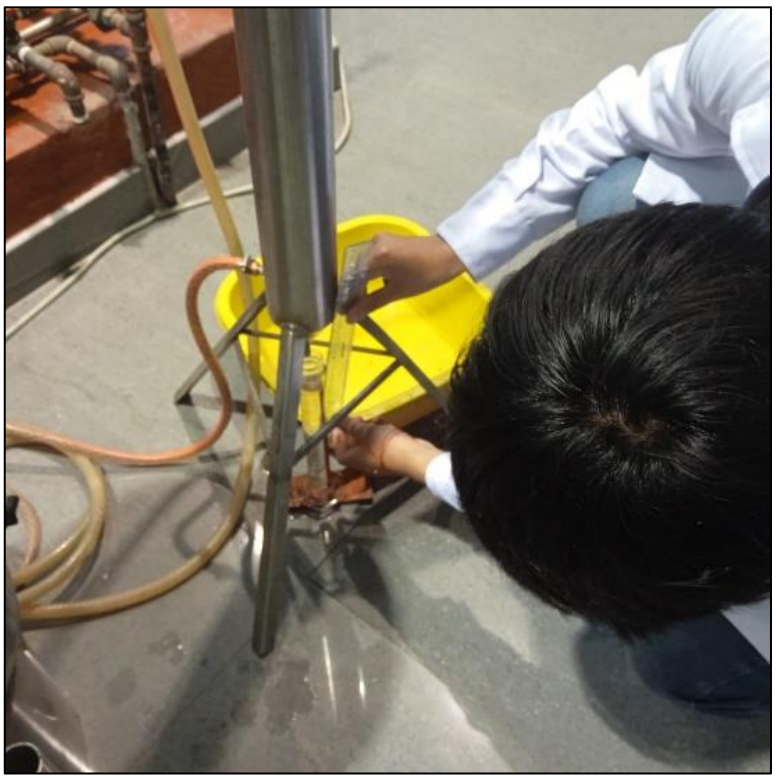


Fig. 17 Toma de muestras



Fig. 18 Vista del recipiente colector

Para ver la cantidad de aceite que se obtuvo se utilizó una pera de decantación vaciándolo del florentino la cual se obtuvo 59 ml de aceite esencial de cascara de naranja.

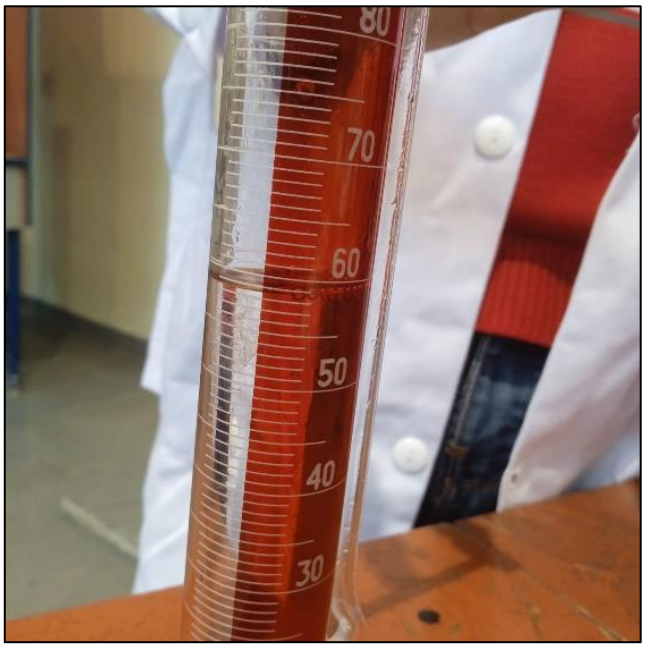


Fig. 19 Muestra de aceite colectado



Fig. 20 Decantación de la muestra

Culminada la prueba se guardó la muestra de aceite de cascara de naranja en un recipiente. Se abrió la tapa del equipo para verificar la materia prima y el estado del tanque, se pudo verificar en el recipiente que las temperaturas elevadas producto de la resistencia eléctrica tuvieron un efecto en la materia prima en la parte de los contornos del tanque.



Fig. 21 Muestra de aceite decantada



Fig. 22 Residuos de la operación

3.1.2. Datos recolectados

Temperatura del condensador

Temperatura ambiente a la entrada del condensador: 23°C

Temperatura de salida: 26 °C

Temperatura del fondo

Hora de inicio encendido de la resistencia 10:10 am, comienzo de aumento de la temperatura en el fondo 10:23 am.

Tiempo (min)	T_{Fondo} (°C)
10:20	26
10:21	26
10:22	26
10:23	27
10:24	30
10:25	33
10:26	36
10:27	39
10:28	42
10:29	45
10:30	48
10:31	51
10:32	54
10:33	57
10:34	60
10:35	62
10:36	64
10:37	66
10:38	68
10:39	72
10:40	74
10:41	78
10:42	82
10:43	88
10:44	90
10:45	92
10:46	94
10:47	96
10:48	98
10:49	98
10:50	99

Fuente: Elaboración propia.

Temperatura del tope

Hora de incremento de la temperatura en el tope a las 10:45 am.

Tiempo (min)	T_{TOPE}(°C)
10:40	21.1
10:41	21.2
10:42	21.1
10:43	21.1
10:44	21.1
10:45	21.4
10:46	24.5
10:47	29.2
10:48	34.2
10:49	40.3
10:50	47.5
10:51	55.8
10:52	57.3
10:53	63.8
10:54	71.7
10:55	75.7
10:56	80.3
10:57	86.2
10:58	89.9
10:59	90.6
11:00	91.7
11:01	93.7
11:02	94.6
11:03	96.3
11:04	96.9
11:05	97.8
11:06	98.1
11:07	98.6
11:08	98.8
11:09	99.1
11:10	99.1

Fuente: Elaboración propia.

Se tomaron los datos de las medidas obtenidas del florentino a la hora de descarga del aceite, comenzó la primera gota de aceite a las 11:00 am y culminó a las 11:16 am.

3.1.3. Mediciones obtenidas

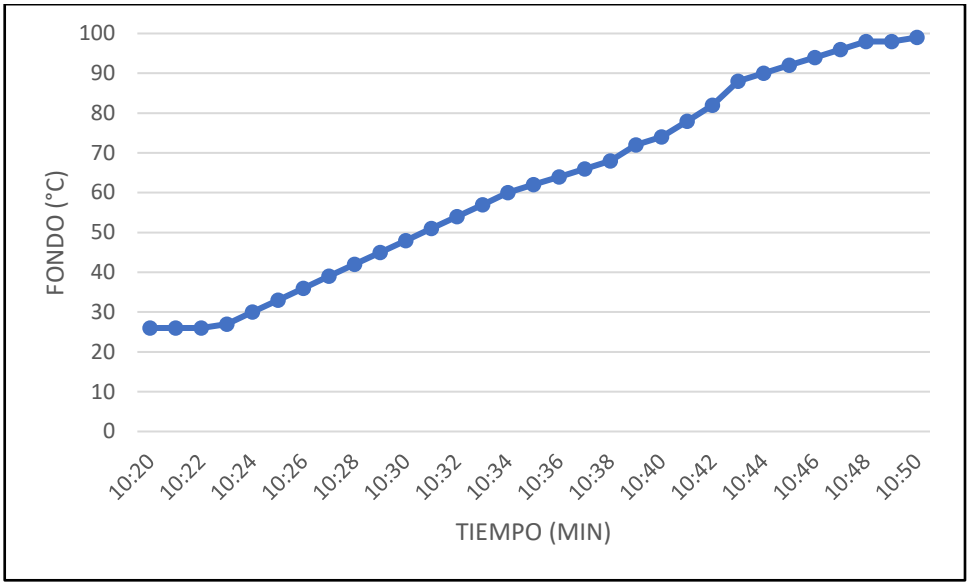
Tiempo (min)	K
1	0.1
2	0.1
3	0.1
4	0.4
5	0.5
6	0.6
7	0.7
8	1.9
9	2.5
10	3
11	3.5
12	3.9
13	4.6
14	4.9
15	5.3
16	5.9
17	6.2
18	6.4
19	6.7
20	7
21	7.2
22	7.4
23	7.5
24	7.6
25	7.9
26	8
27	8.2
28	8.3
29	8.5
30	8.5
31	8.6
32	8.6
33	8.7
34	8.9
35	9.2
36	9.3
37	9.3
38	9.4

Tiempo (min)	K
39	9.4
40	9.4
41	9.5
42	9.6
43	9.7
44	9.8
45	9.8
46	9.8
47	9.9
48	10
49	10
50	10
51	10.1
52	10.2
53	10.3
54	10.3
55	10.3
56	10.4
57	10.4
58	10.5
59	10.5
60	10.6
61	10.6
62	10.6
63	10.7
64	10.8
65	10.8
66	10.8
67	10.9
68	10.9
69	11
70	11
71	11.1
72	11.1
73	11.1
74	11.1
75	11.1
76	11.1

Fuente: Elaboración propia.

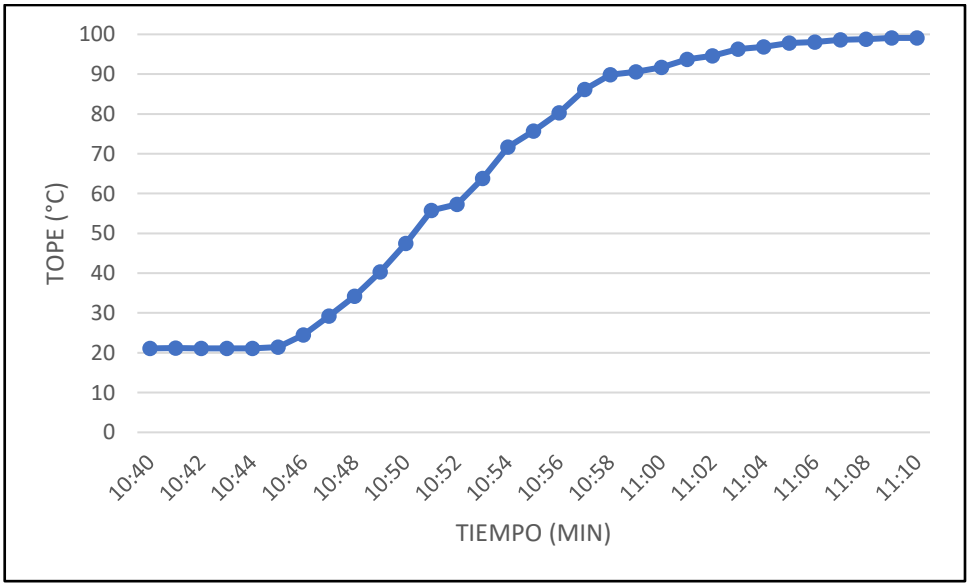
3.1.4. Graficas obtenidas mediante los datos tomados

Temperatura del fondo



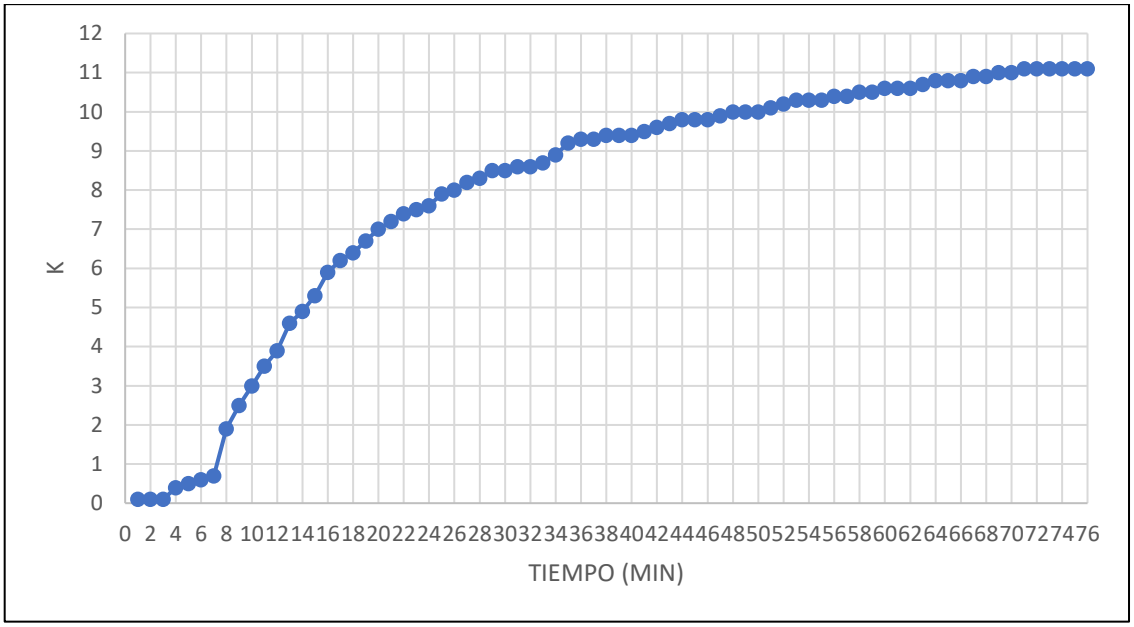
Fuente: Elaboración propia.

Temperatura del tope



Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Medidas obtenidas en el florentino



Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Aplicación del control del proceso

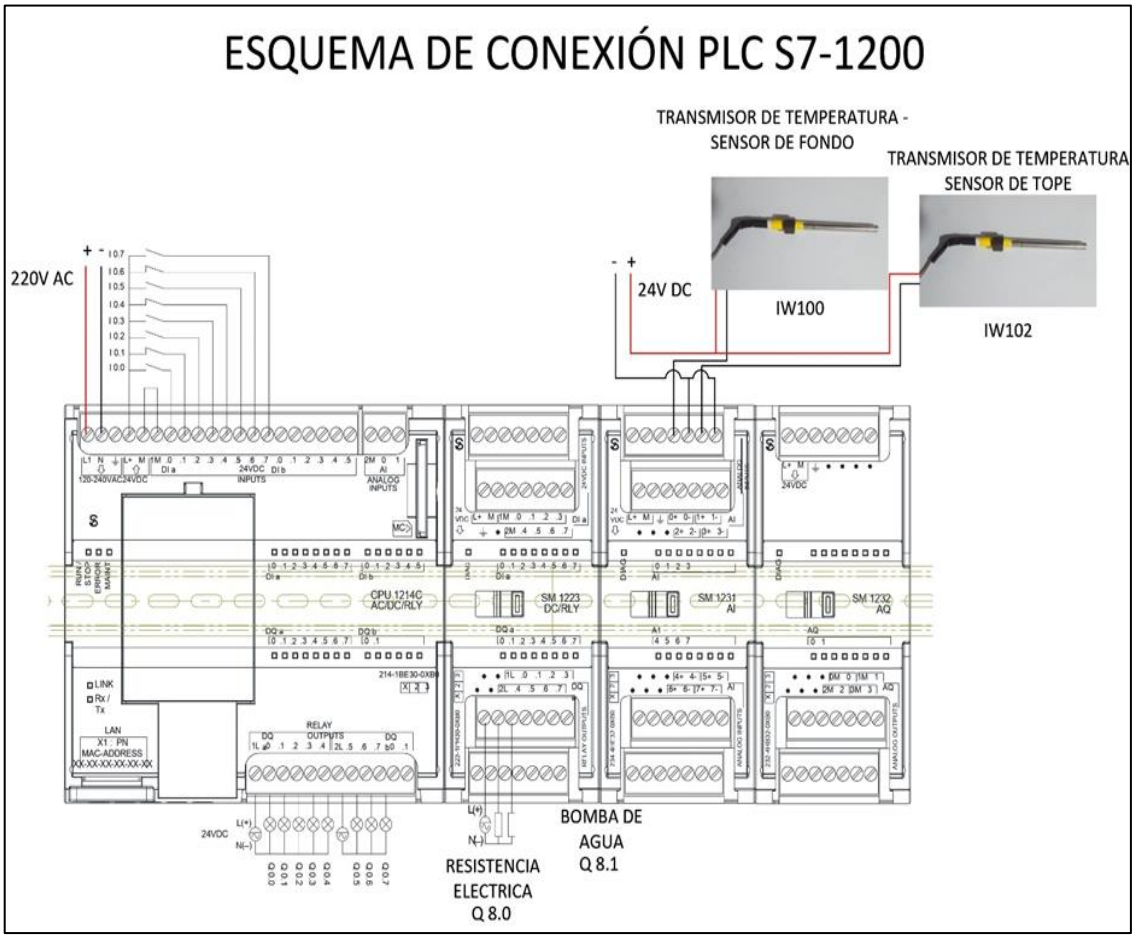
Una vez obtenido los resultados y comprobado el funcionamiento del equipo se utilizará una estrategia de control de lazo abierto, y agregando una programación en PLC.

Todas las pruebas se hicieron el laboratorio de operaciones unitarias, las ´pruebas con PLC se hicieron en el aula de laboratorio de automatización y control de procesos.

Programación en PLC (componentes)

El PLC utilizado es el S7-1200 de la marca SIEMENS con sus módulos de expansión agregados, un módulo de expansión discreta (SM1223), un módulo de expansión entrada análoga (SM1231) y un módulo de expansión salida análoga (SM1232). Se conexionará con cuatro sensores termoculpa tipo J al módulo de entrada análoga, también la resistencia eléctrica se instalará en el módulo discreto de 220 Voltios de trabajo.

Adicionalmente se utilizará un transformador de 24 Voltios para el funcionamiento de los módulos de expansión del PLC y dos contactores para el funcionamiento de la resistencia eléctrica y bomba de agua condensador.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 23 Esquema de conexión al PLC S7-1200 Siemens.

Se considera que no es necesario un módulo de salida análoga para esta prueba, como este acoplado al tablero general se le ha agregado para su correcto funcionamiento y carga del PLC.

La carga y prueba del PLC se puede apreciar en la figura 24.

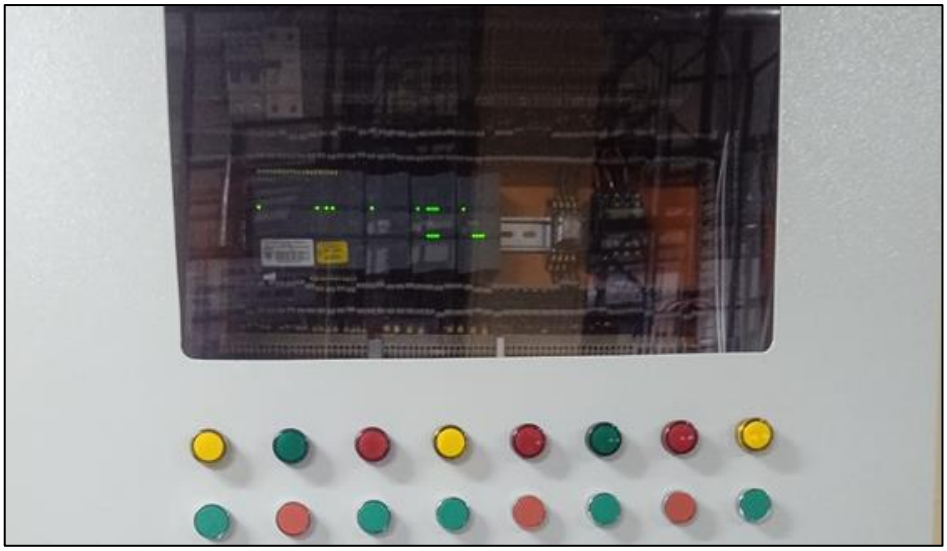


Fig. 24 Carga y prueba del PLC

Programación

Para la programación se utilizó el software TIA Portal V16 del PLC Siemens, con lo cual se comprobó su funcionamiento, además de agregar en el software un HMI de 12” Panel Comfort para ver su funcionamiento en prueba del sistema.

Damos clic en inciar Tia Portal V16 en la barra de búsqueda de Windows

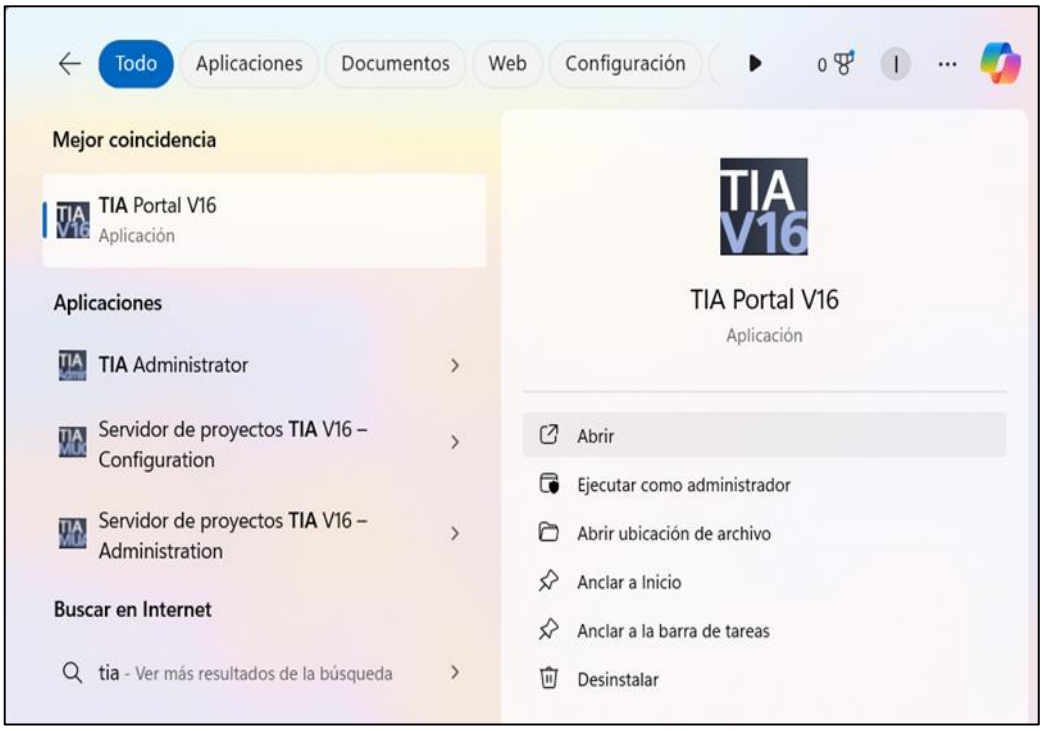


Fig. 25 Enlace con Windows

Creamos un proyecto agregándole el nombre “Extracción de aceites esenciales”.

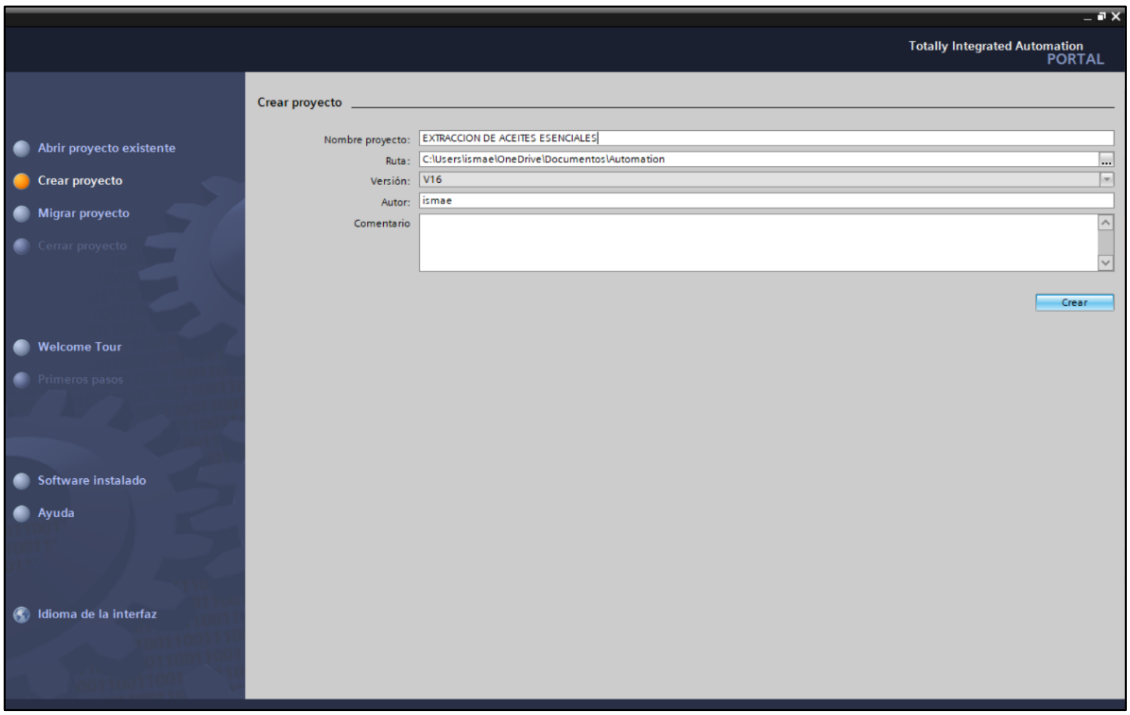


Fig. 26 Creación del proyecto

En “Agregar dispositivo” agregamos el PLC CPU S7-1200 1214C AC/DC/Rly

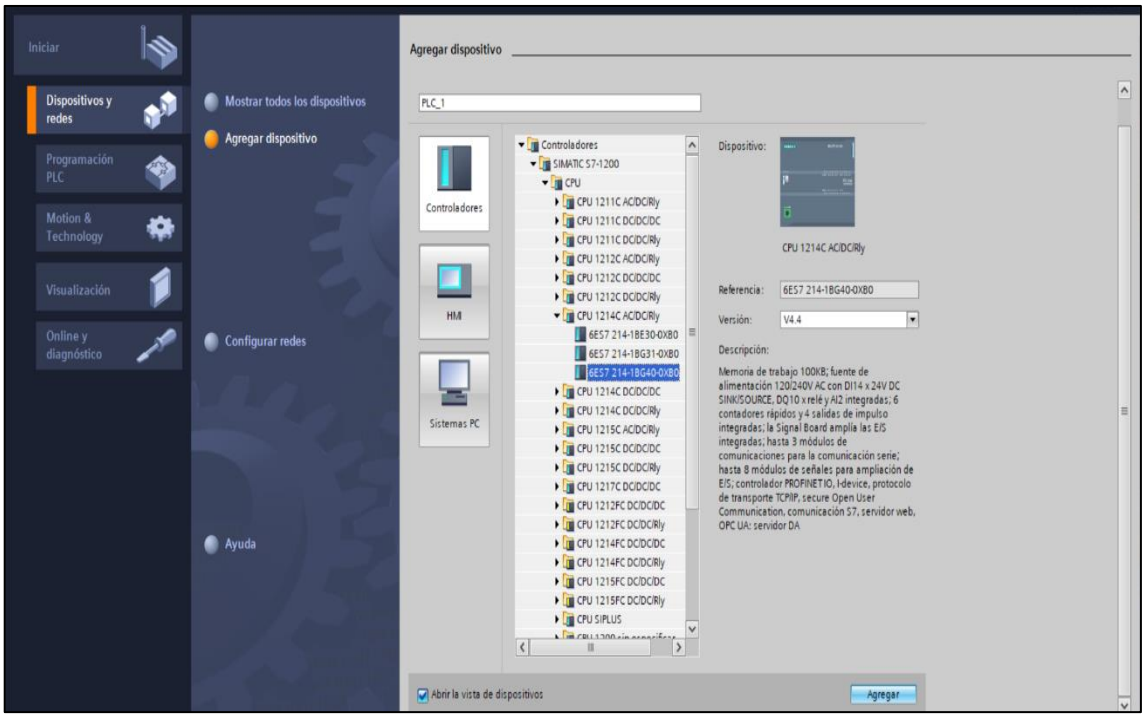


Fig. 27 Declaración del PLC

En la ventana de dispositivos y redes se agrega los módulos de expansión discreta y análoga.

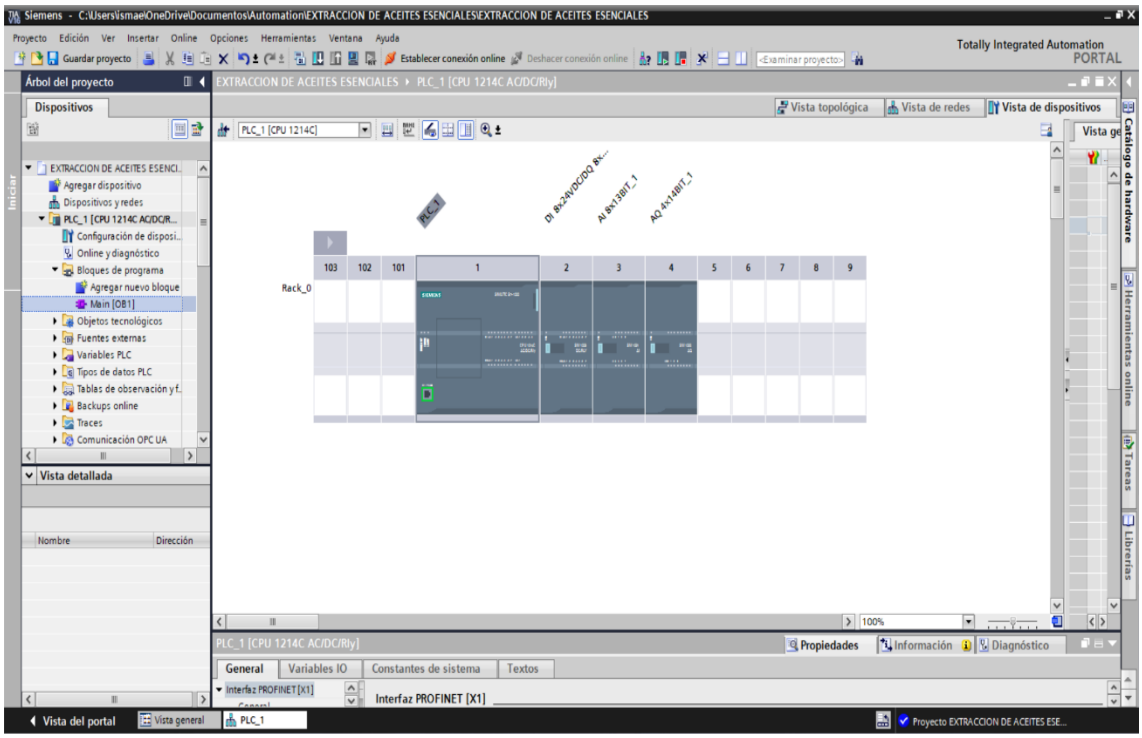


Fig. 28 Agregación de los módulos

Configuramos las direcciones de entrada análoga (AI) y señales discretas (DI/DQ).

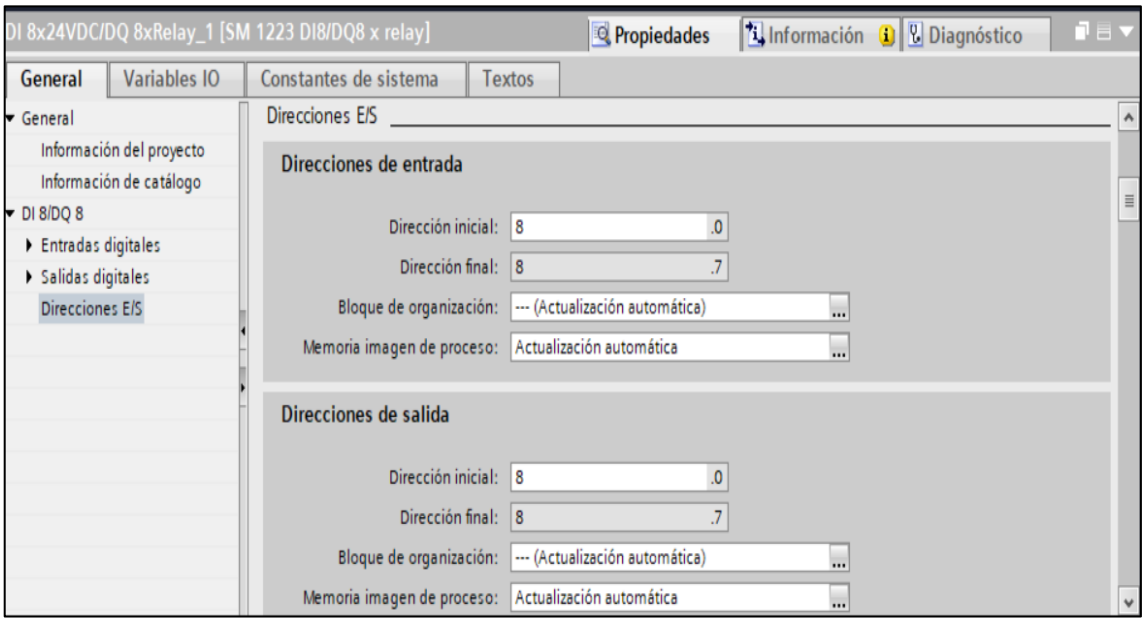


Fig. 29 Configuración de señales discretas

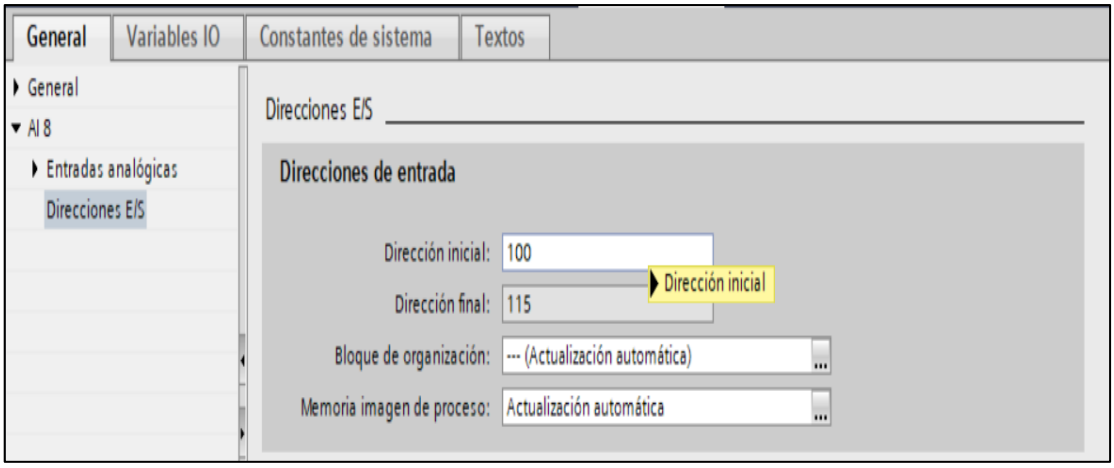


Fig. 30 Configuración de señales analógicas

Luego nos vamos a árbol de proyecto y agregamos otro bloque de organización en donde programaremos las señales analógicas.

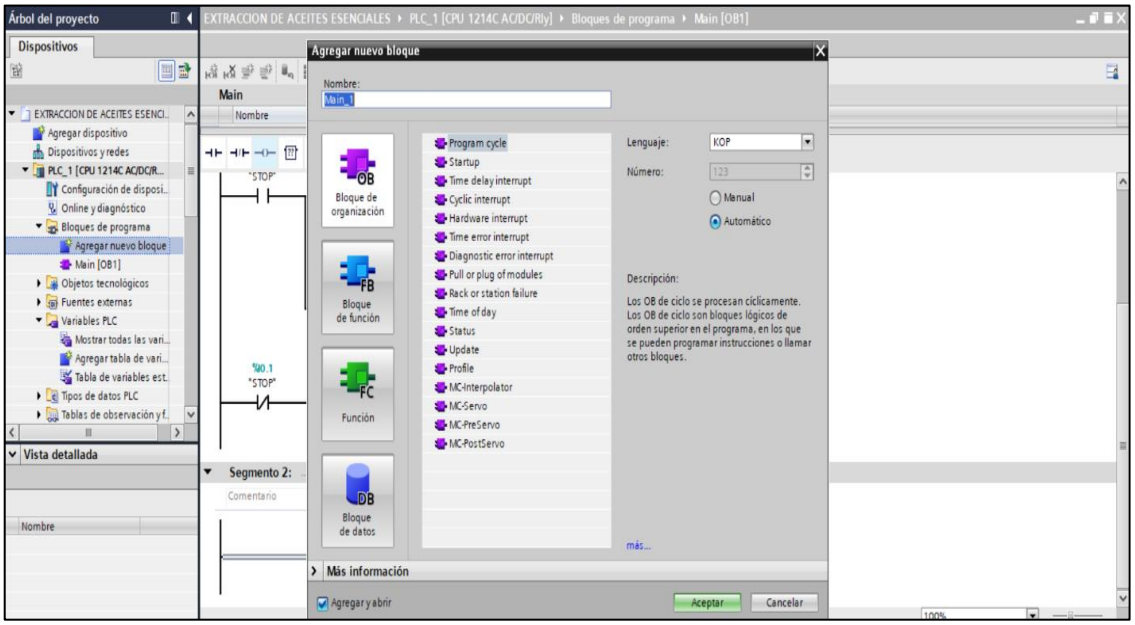


Fig. 31 Programación de señales analógicas

En bloque de organización Main [OB1] empezamos a construir la programación.

Le agregaremos un comentario al título del bloque “Extracción de aceites esenciales cascara de naranja”. En el segmento 1 le agregaremos un comentario (Arranque del sistema).

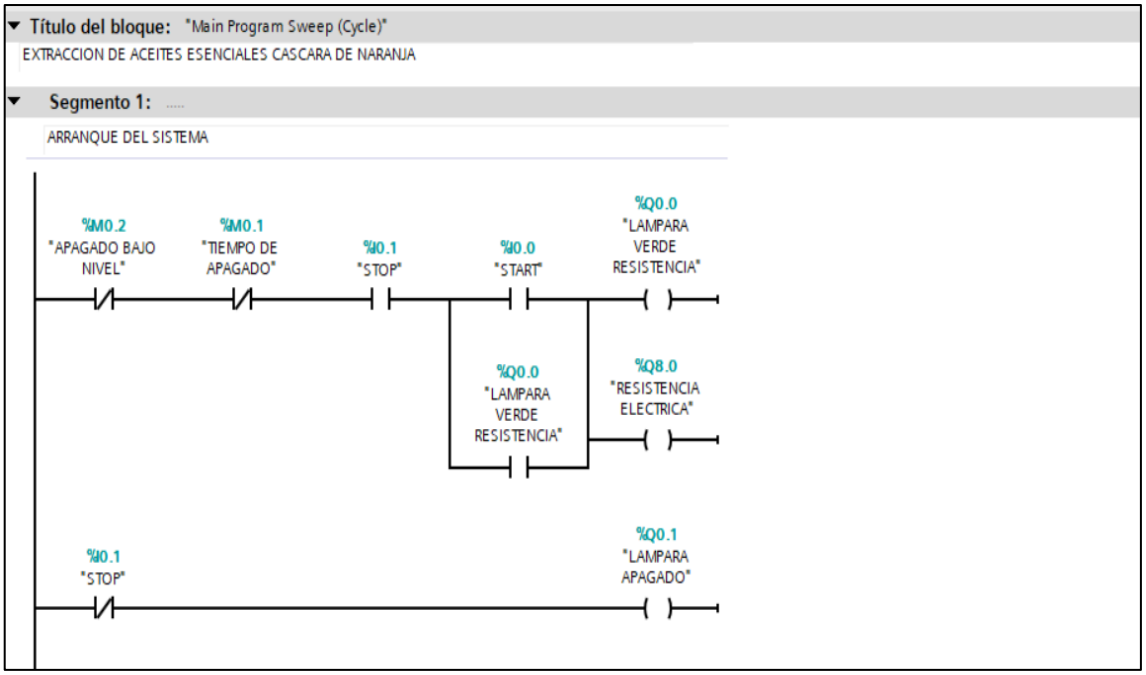


Fig. 32 Construcción de la programación

La programación se le ha agregado lo siguiente:

Start I0.0

Stop I0.1

Lampara verde indicando encendido de la resistencia eléctrica Q0.0

Encendido de la resistencia eléctrica Q8.0

Lampara de apagado Q0.1

Apagado Bajo nivel de agua M0.2

Tiempo de terminada la prueba M0.1

En el segmento 2 le agregaremos un comentario (Duración de la corrida total)

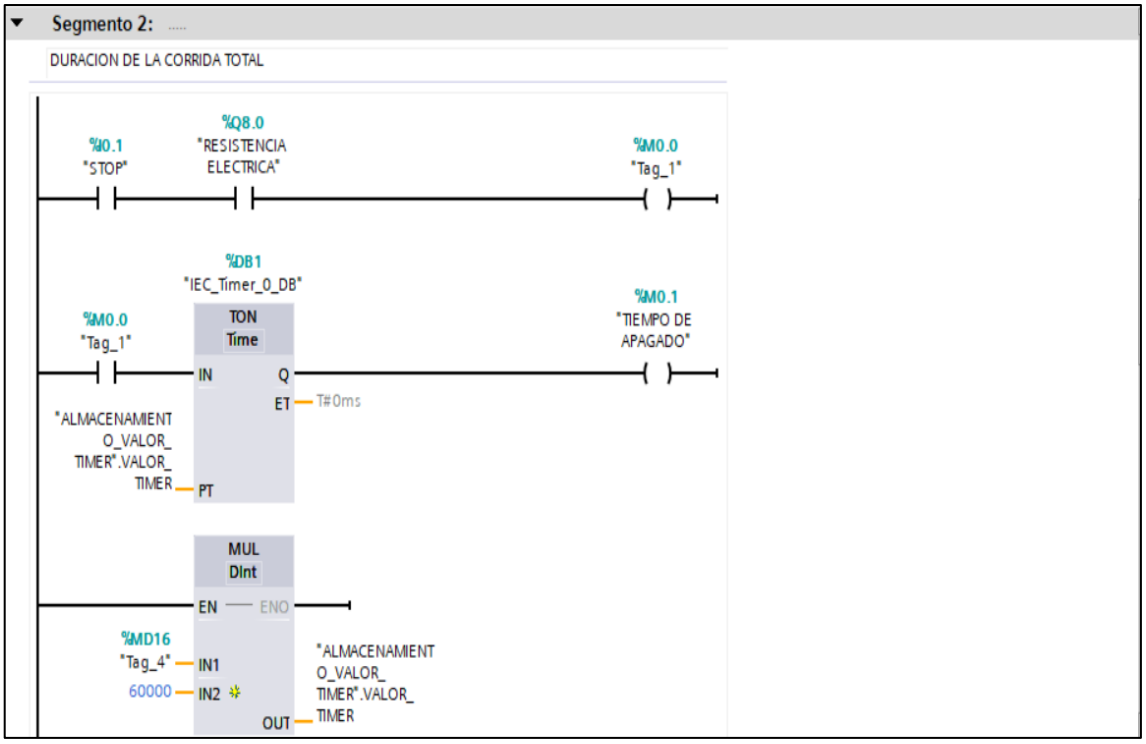


Fig. 33 Duración de la corrida

La programación se le ha agregado lo siguiente:

Stop I0.1

Encendido de la resistencia eléctrica Q8.0

Memoria para que inicie el temporizador TON M0.0

Tiempo de terminada la prueba M0.1

Temporizador TON DB1

Almacenamiento_valor_timer DB3

Memoria de conteo de tiempo MD16

Multiplicador de dato Dint, se multiplica por 60000 para obtener de resultado minutos.

En el segmento 3 le agregaremos un comentario (Condensador)

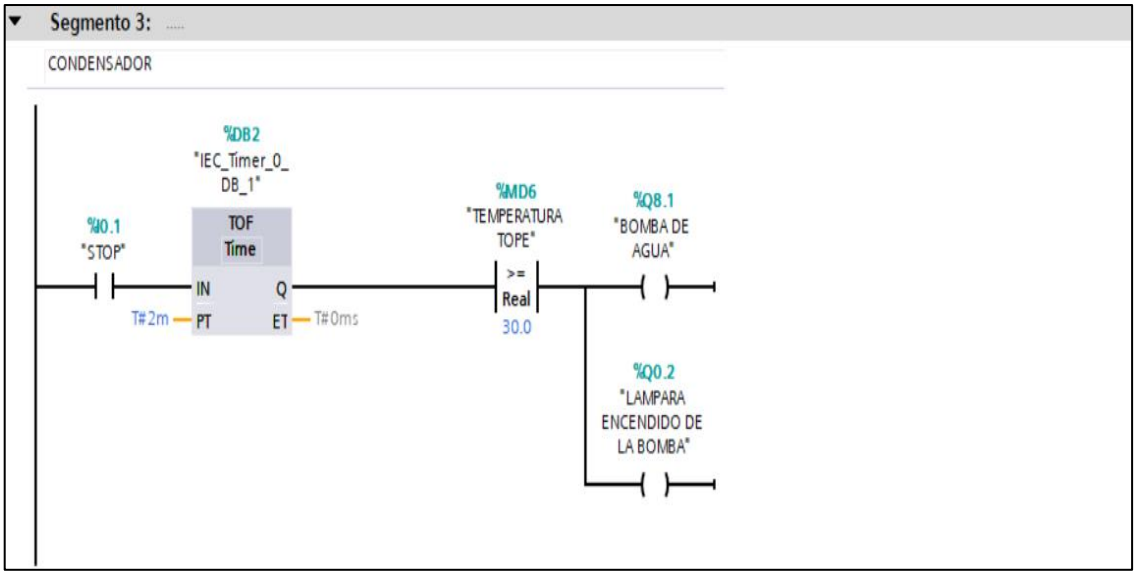


Fig. 34 Simulación del condensador

La programación se le ha agregado lo siguiente:

Stop I0.1

Temporizador TOF DB2

Comparador mayor igual que MD6

Bomba de agua Q8.1

Lampara de encendido de la bomba Q0.2

En el segmento 4 le agregaremos un comentario (Sensor de nivel)

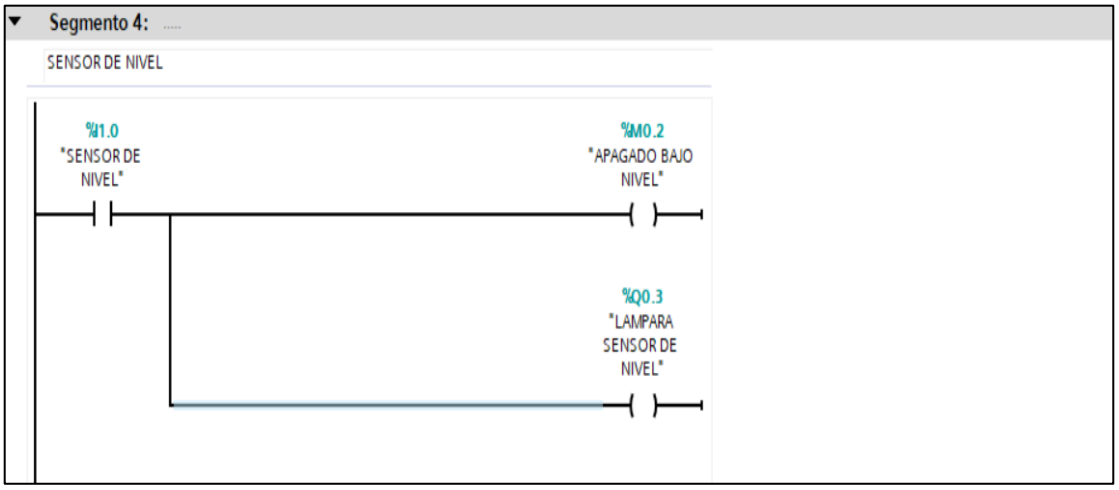


Fig. 35 Configuración del sensor de nivel

La programación se le ha agregado lo siguiente:

Sensor de nivel I1.0

Apagado por bajo nivel memoria M0.2

Lampara indicador sensor de nivel Q0.3

3.2. Escalamiento de señales análogas

Para el escalamiento de la señal de entrada análoga se utilizara el bloque NORM_X y EXCALE_X.

El escalamiento de enteros para señal análoga es de 0 a 27648 y el rango del sensor es de 0 a 150 °C.

Le agregaremos un comentario al título del bloque “Escalamiento de sensores de temperatura” En el segmento 1 le agregaremos un comentario (Sensor de temperatura de fondo).

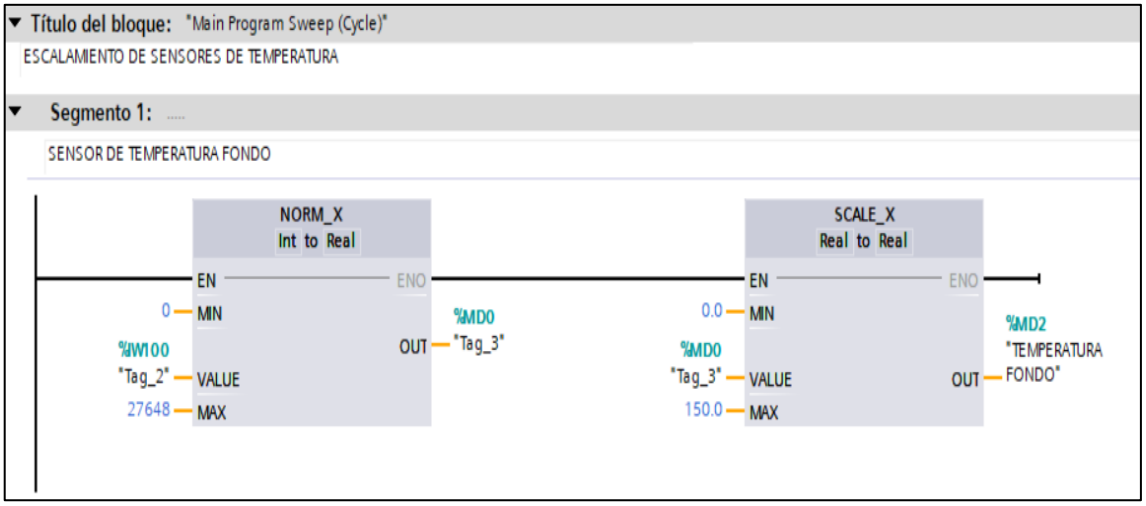


Fig. 36 Escalamiento del sensor de temperatura

La programación se le ha agregado lo siguiente:

Sensor de temperatura de fondo IW100

Memoria digital temperatura de fondo MD2

En el segmento 2 le agregaremos un comentario (Sensor de temperatura de Tope).

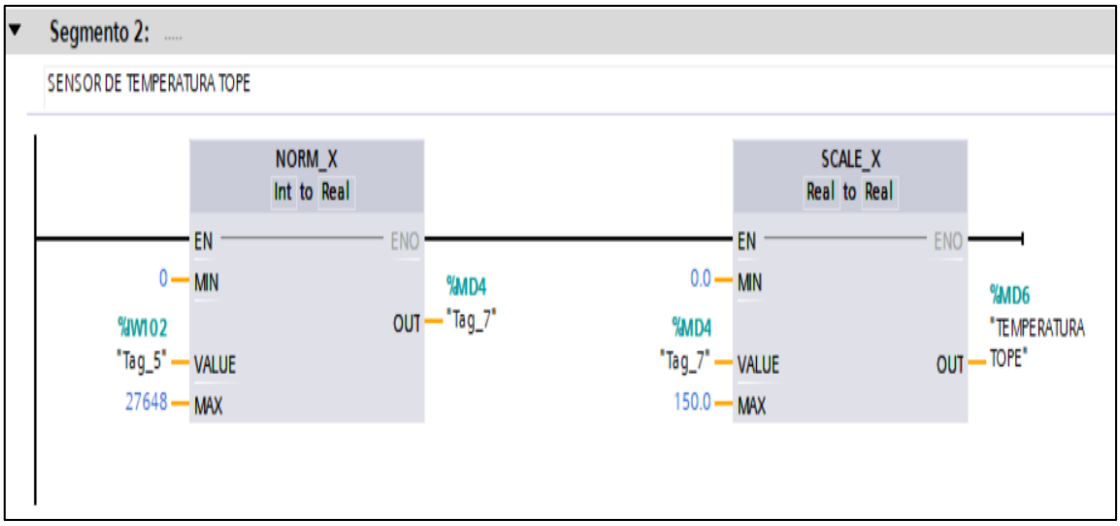


Fig. 37 Sensor de temperatura del tope

La programación se le ha agregado lo siguiente:

Sensor de temperatura de fondo IW102

Memoria digital temperatura de fondo MD6

En el segmento 3 le agregaremos un comentario (Sensor de temperatura entrada condensador).

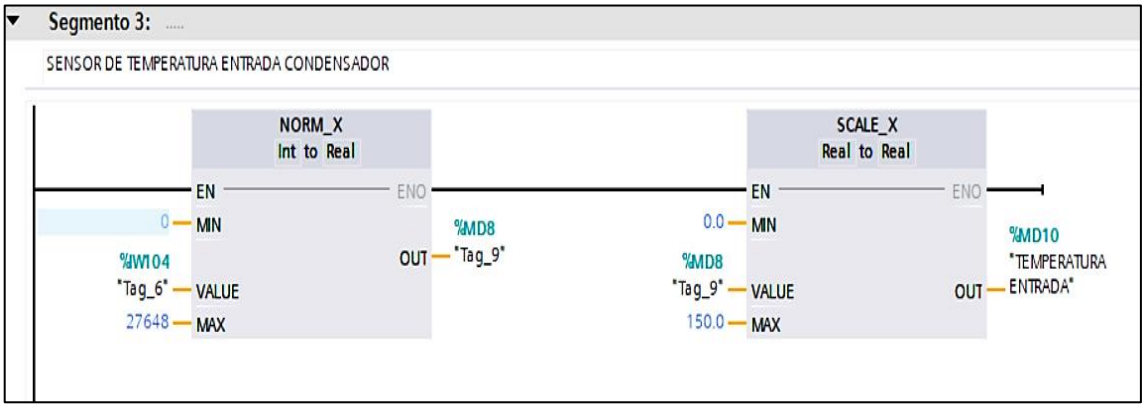


Fig. 38 Sensor de temperatura entrada condensador

La programación se le ha agregado lo siguiente:

Sensor de temperatura de fondo IW104

Memoria digital temperatura de fondo MD10

En el segmento 4 le agregaremos un comentario (Sensor de temperatura salida condensador).

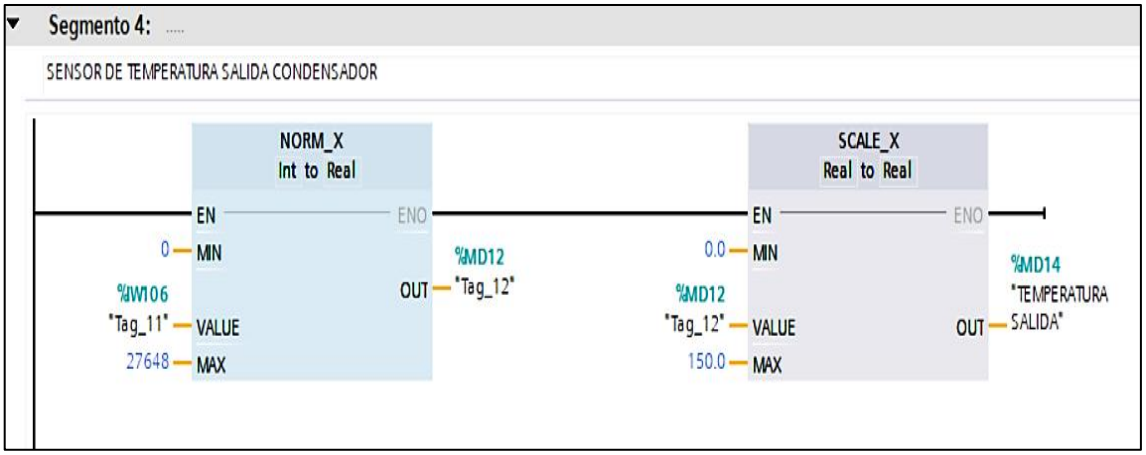


Fig. 39 Sensor de temperatura salida condensador

Sensor de temperatura de fondo IW106

Memoria digital temperatura de fondo MD14

3.2.1. Incorporación de Pantalla HMI

En el árbol del proyecto le damos clic en agregar dispositivo.

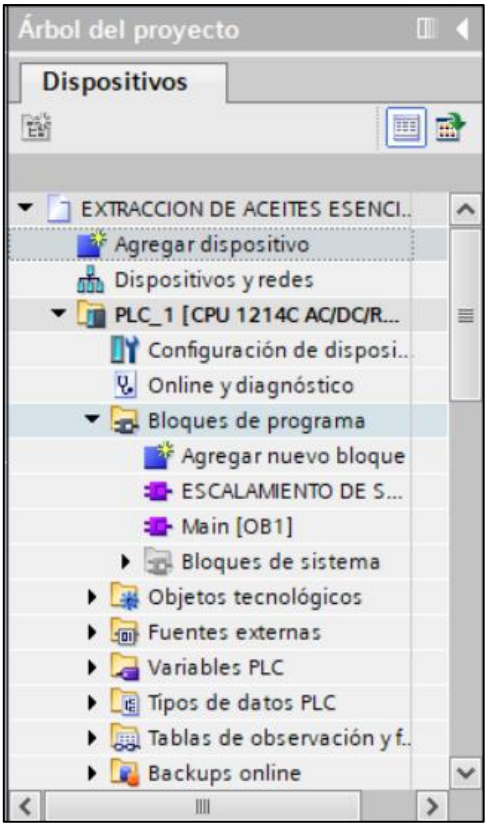


Fig. 40 Configuración de Pantalla HMI

Agregamos en HMI un TP900 Comfort Panel de 9” Display

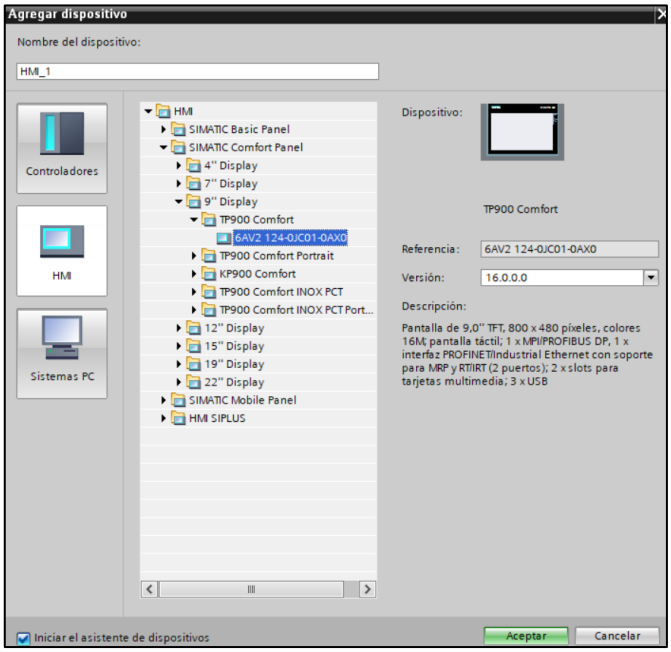


Fig. 41 Configuración del Display

Le damos clic en examinar y seleccionamos el PLC luego le damos clic en el check y clic en Finalizar

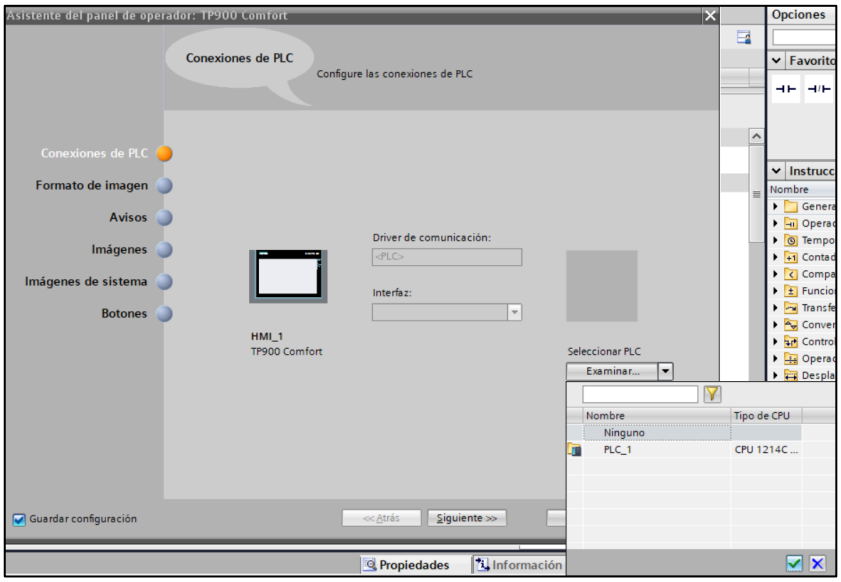


Fig. 42 Conexiones de PLC

Agregamos las gráficas en la ventana herramientas para darle forma a la gráfica del HMI. Luego agregamos cada variable a cada elemento para que pueda dar lectura al HMI.

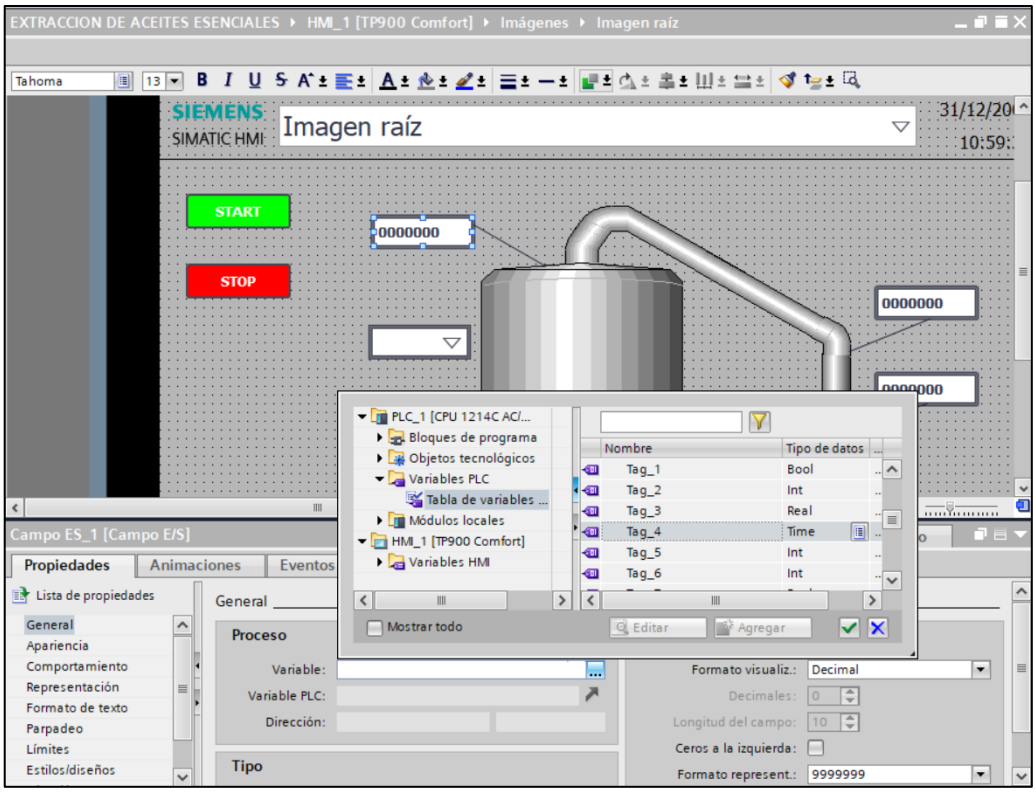


Fig. 43 Configuración de las variables

El resultado obtenido al conectarse con el software al PLC nos da una vista más detallada del proceso automatizado dando por terminada la automatización.

A continuación, se ve los resultados obtenidos conectados al PLC.

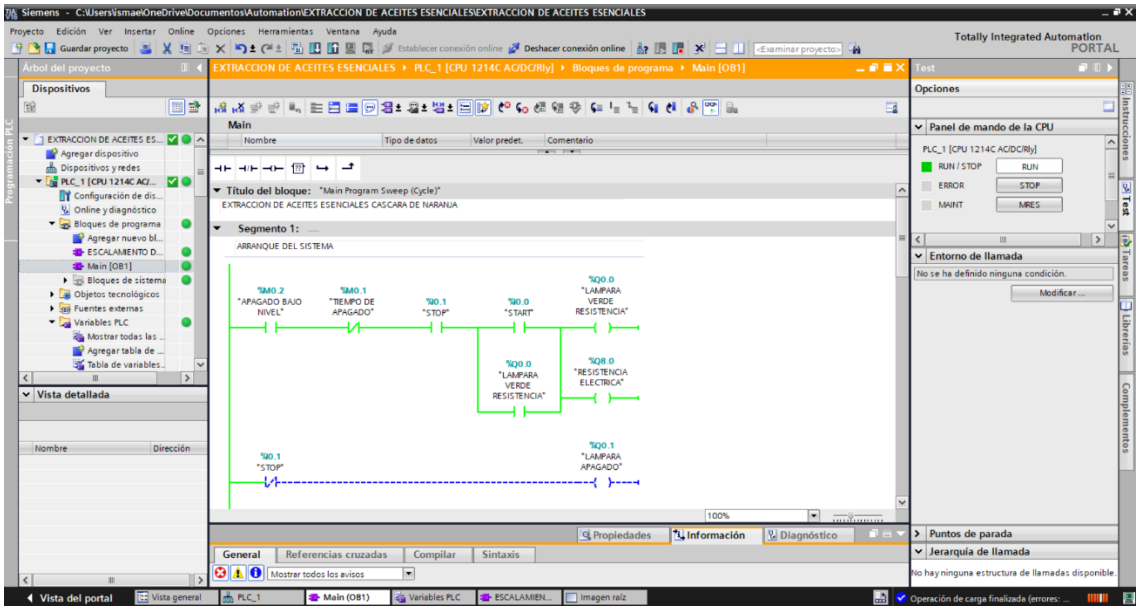


Fig. 44 Performance del PLC

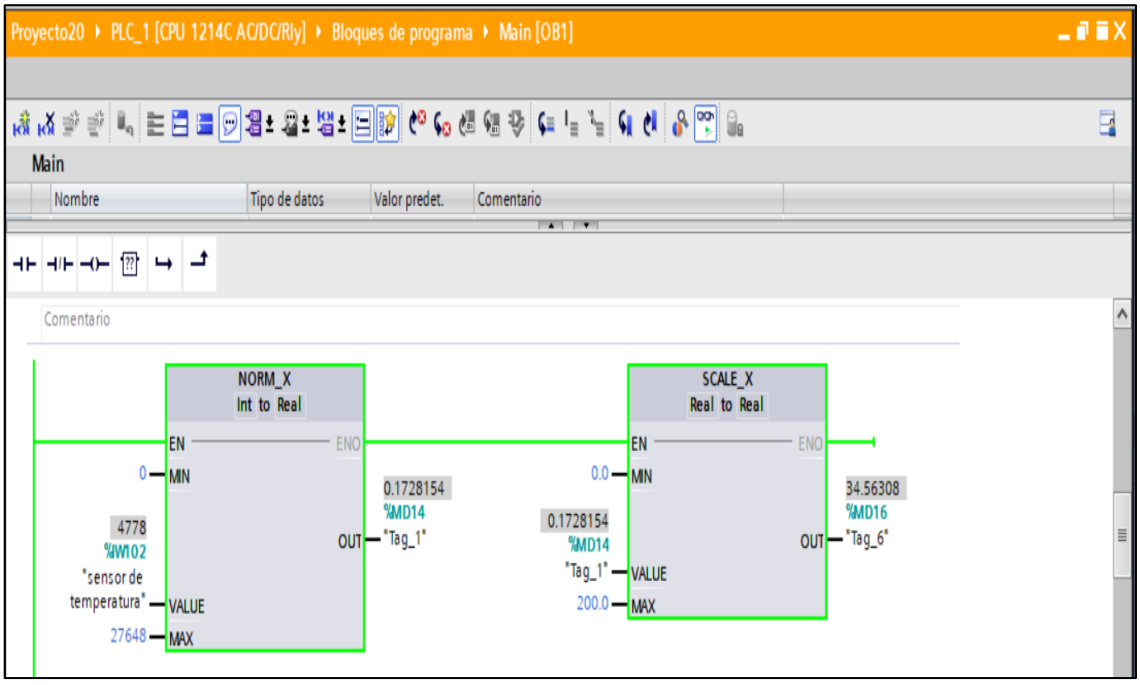


Fig. 45 Resultados del PLC

Como parte final se ve la configuración de la pantalla HMI para ver una vista más detallada del proceso de aceite esencial.

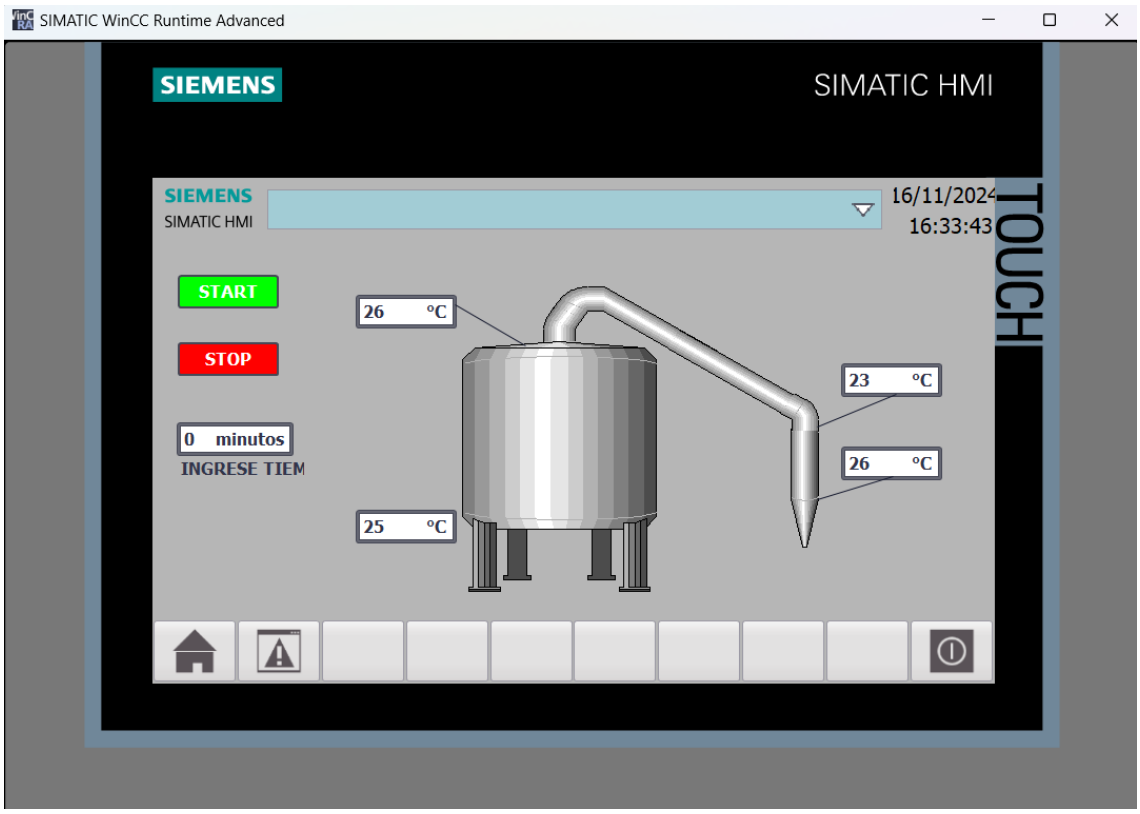


Fig. 46 Vista final detallada del Proceso

3.3. Agregación de la simulación en PID

Para esta segunda prueba se tiene en cuenta que, al utilizar una válvula análoga para la entrada de vapor, esta se debe regular en la entrada con un sensor de temperatura ubicado en el fondo del equipo de destilación. En la válvula de control se le hará un escalamiento para poder manipular la señal de salida analógica. La programación se le ha agregado lo siguiente:

Señal de salida analógica (válvula de control) QW100 Memoria digital de la válvula analógica MD30

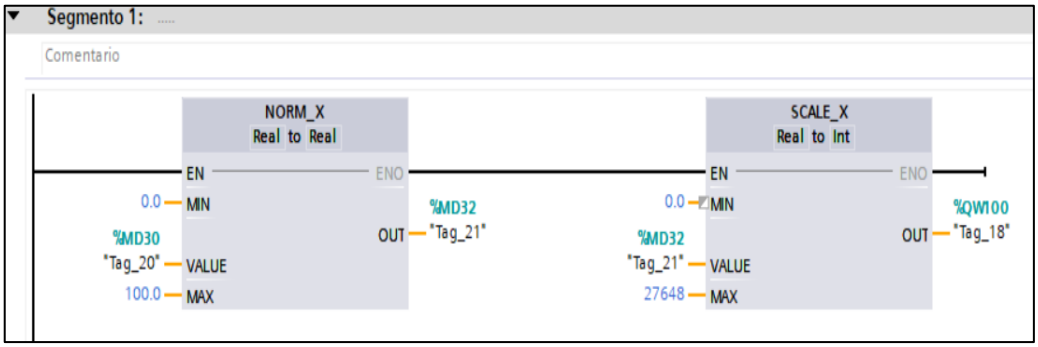


Fig. 47 Configuración del PID

Teniendo en cuenta de la figura 36 en la programación, la memoria digital de la temperatura de fondo es MD2 se agregará al bloque PID. Para la salida analógica de la válvula de control no se le hará un escalamiento, sino que directamente se incorporará en el bloque PID su dirección será el QW100.

Entonces la programación en el PID será:

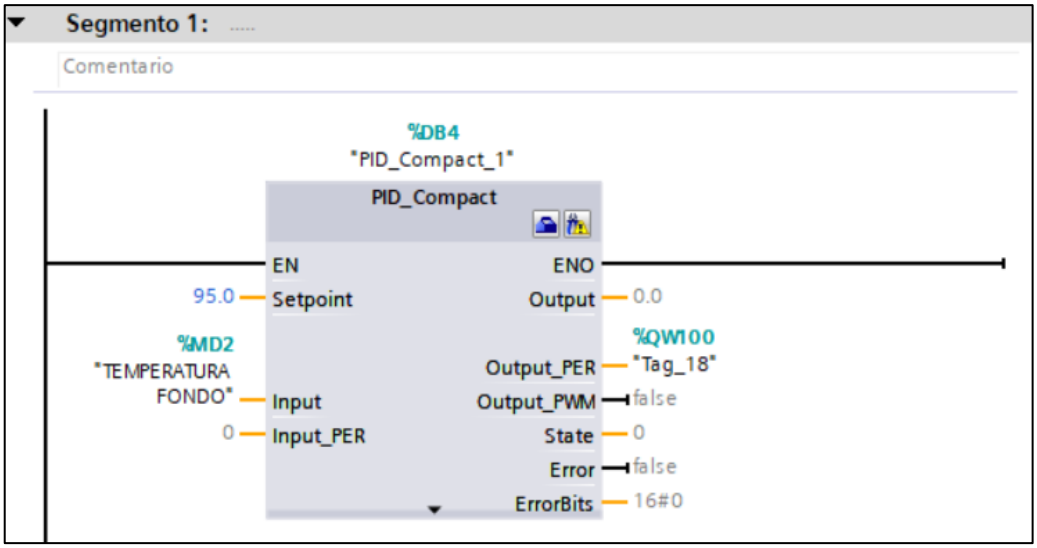


Fig. 48 Configuración del PID

Teniendo en cuenta que se agrego un nuevo bloque de programa de interrupción cíclica para la simulación del PID. Se encontró el bloque PID en Instrucciones-Tecnología-PID control- PID_Compact.

Se hicieron los ajustes básicos en tipo de regulación, cambiando a temperatura en °C.

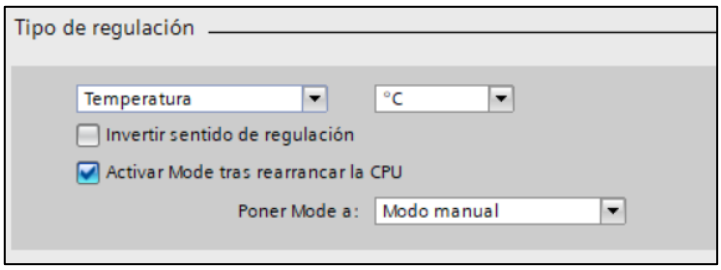


Fig. 49 Configuración en el tipo de regulación

En parámetros de entrada se cambió el Input_PER a Input.

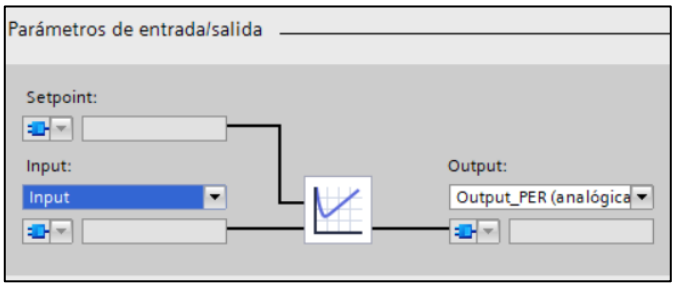


Fig. 50 Configuración en parámetros de entrada

En parámetros de PID la sintonía quedara en Ganancia proporcional (P): 10.0 Tiempo de integración (I): 20.0 Tiempo derivativo (D): 0.0

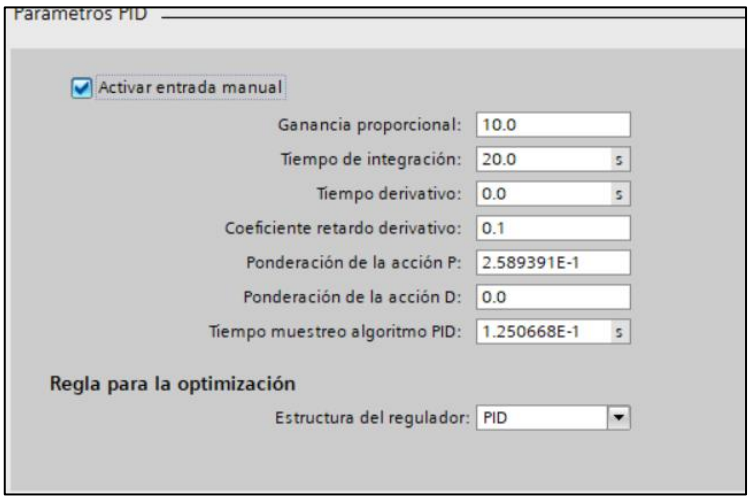


Fig. 51 Configuración en los parámetros de PID

3.3.1 Simulación de la sintonía del PID

Al iniciar la simulación en el PID se le da clic en start y luego en PID-Compact para su funcionamiento del PID.

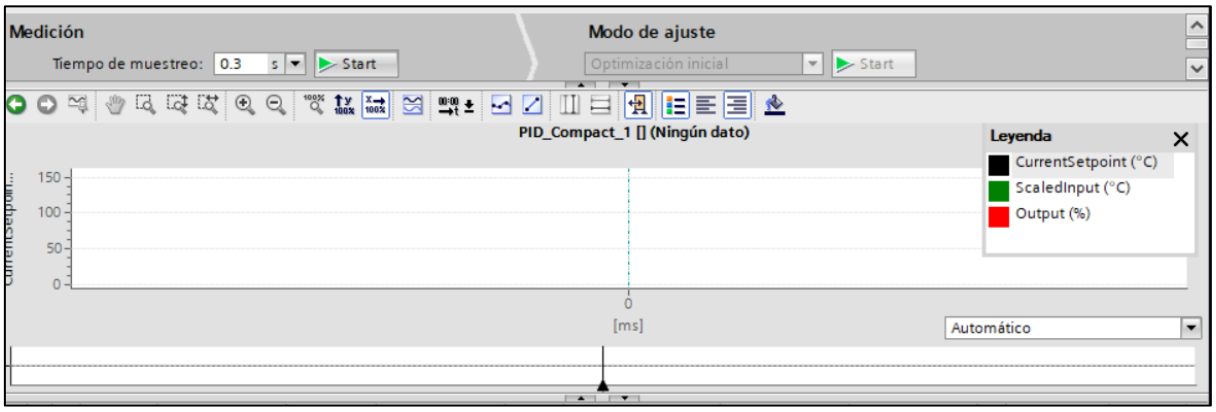


Fig. 52 Vista detallada de la simulación del PID

Como se muestra en la figura se ve el comportamiento del simulador para un sensor de temperatura y una válvula de control.

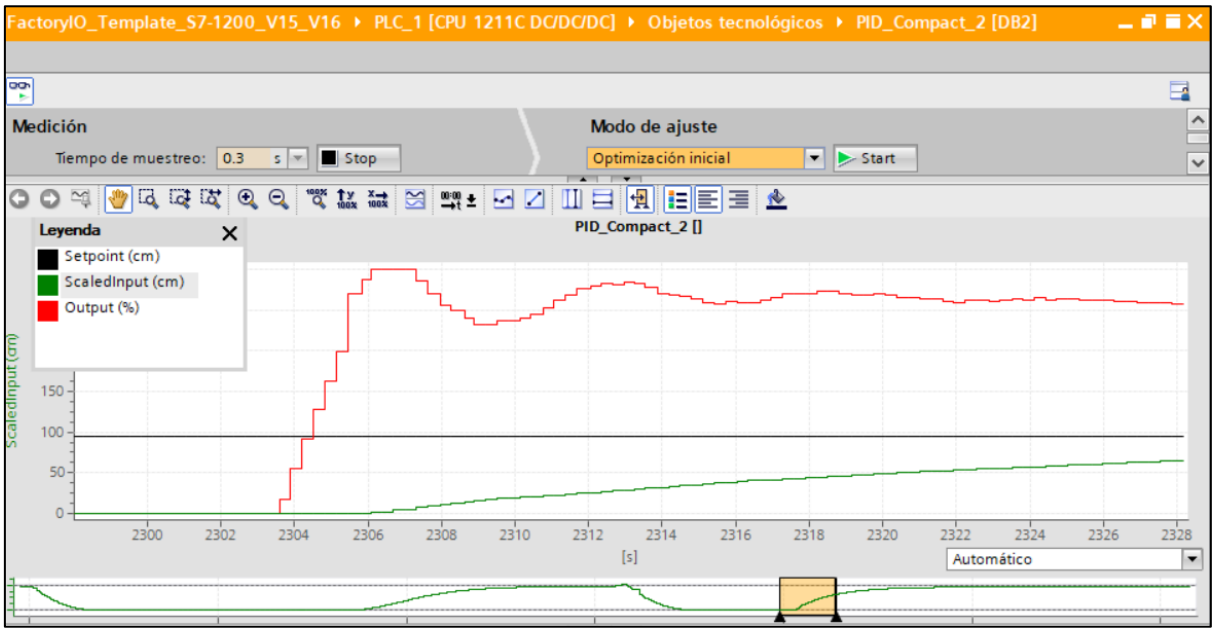


Fig. 53 Vista detallada de la primera simulación del PID

Para la siguiente simulación se agregó nuevos parámetros de PID la sintonía quedara en: Ganancia proporcional (P): 5.0 Tiempo de integración (I): 20.0 Tiempo derivativo (D): 0.0

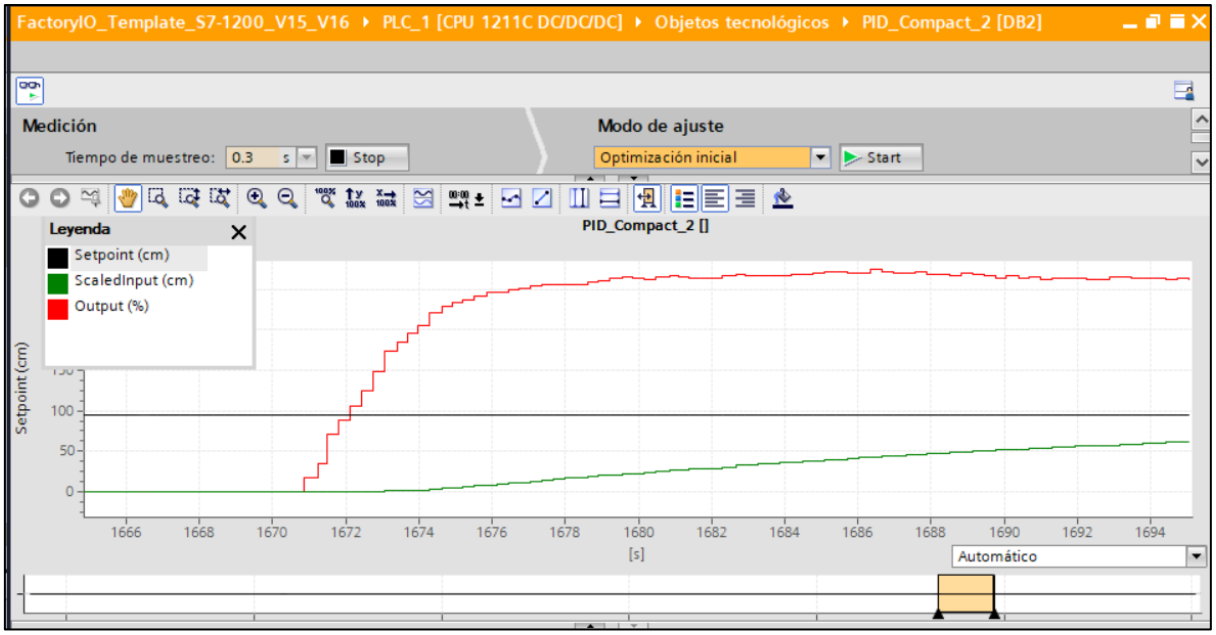


Fig. 54 Vista detallada de la segunda simulación del PID

Para la última simulación se agregó nuevos parámetros de PID la sintonía quedara en: Ganancia proporcional (P): 1.0 Tiempo de integración (I): 20.0 Tiempo derivativo (D): 0.0

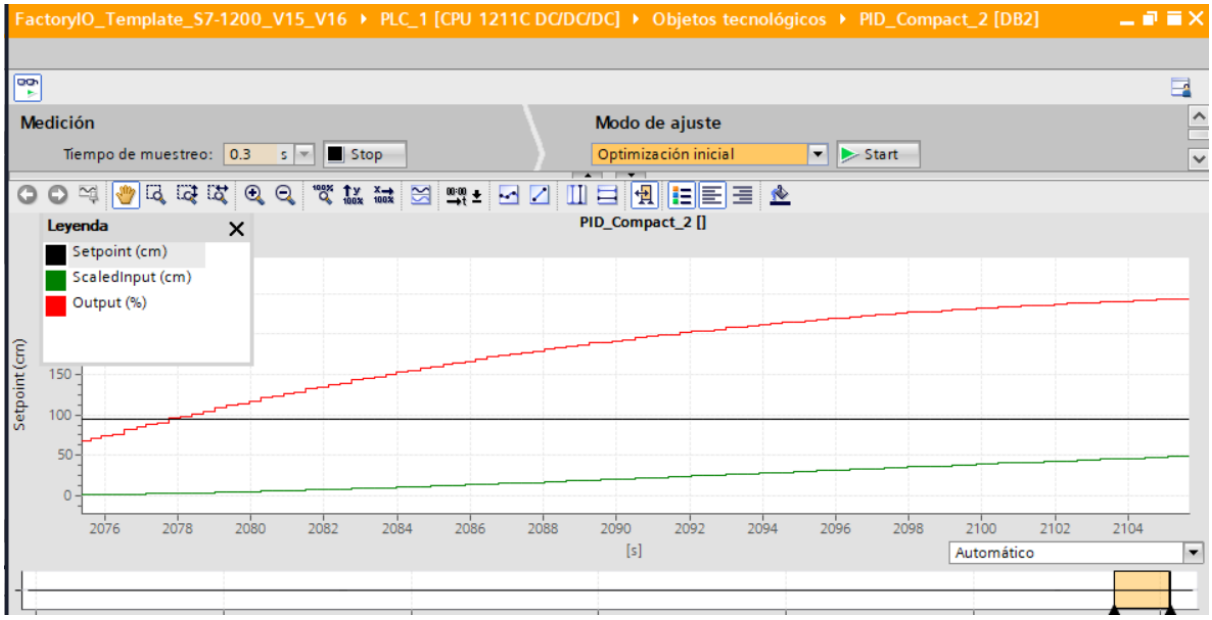


Fig. 55 Vista detallada de la tercera simulación del PID

Viendo el comportamiento de la sintonía del PID se pudo apreciar que la mejor sintonía es la segunda simulación ya que la ganancia proporcional se adecua como la mejor opción del proceso.

También comparando con la manipulación de la válvula analógica para mantener una temperatura constante y la simulación del controlador PID se puede apreciar que la mejor opción es el PID ya que evita que el sistema se descontrole ante cualquier perturbación en el proceso.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las tablas se pueden predecir, están dentro de términos razonables. El caudal de vapor que se alimenta al sistema juega un papel crucial en esto. En las tres simulaciones participa como variable manipulada, es decir, se modificó para comprobar los resultados que produce sobre la producción de aceite esencial de limón.

En la primera simulación se aplicó los parámetros de entrada del PID configurados en el software. En el segundo caso se modificó los parámetros de PID para ver el comportamiento del proceso. Al aplicar el controlador PID podemos ver que en rendimiento se convierte en una mayor recuperación.

Si analizamos las gráficas de temperatura, podemos ver que la masa en el sistema está en constante cambio, primero aumenta porque el sistema está frío y necesita ser calentado desde temperatura ambiente 25°C hasta temperatura de ebullición.

Este aumento de masa en el sistema se produce porque el vapor inyectado se mueve hacia el interior, cediendo su calor latente para calentarlo y elevar la temperatura del sistema, y luego disminuye debido a la creciente salida del sistema a medida que aumenta la temperatura del sistema, reduciendo así el arrastre de aceite esencial.

La aplicación del control PID al sistema de arrastre con vapor; En el análisis de las figuras de la simulación, vemos la evolución de la temperatura del sistema a lo largo del tiempo, podemos ver que la temperatura varía y tiene una influencia significativa en la recuperación de AEN.

Para mantener una temperatura constante en el sistema Fig. 53, el flujo de vapor es manipulado por una válvula de control, lo que da como resultado una recuperación mejorada de acuerdo con la comparación entre las dos simulaciones, en comparación con la simulación con controlador PID. Se muestra en las Figs. 53,54 y 55.

En las Figs. 53,54 y 55 vemos como el control proporcional lleva el sistema a un punto cercano al set point, y vemos como el control integral corrige el error y lo ajusta al set point, corrigiendo el “offset”. Esto evita que el sistema se descontrole al anticiparse a las perturbaciones.

V. CONCLUSIONES

- ✓ De los resultados de simulación presentados, se puede concluir que el modelo matemático obtenido para el sistema de destilación por arrastre de vapor para la obtención de aceite esencial de naranja representa el comportamiento de las variables más importantes en un proceso industrial.
- ✓ A través de las simulaciones se obtiene una respuesta dinámica muy cercana a los datos experimentales del proceso, permitiendo la interpretación del comportamiento en términos de temperatura, nivel, concentración, flujo másico, calor, y la especificación de los parámetros de operación.
- ✓ Las gráficas de simulación describen el sistema de destilación por arrastre de vapor desde las condiciones iniciales o cero hasta donde se encuentra el proceso en condiciones normales de trabajo, en equivalente a las condiciones reales de operación.
- ✓ Hoy en día, este tipo de secuencias de modelado para simulación y control es ampliamente utilizado para optimizar procesos industriales para mejorar su desempeño, reducir costos de investigación de procesos y explorar nuevas condiciones de operación.
- ✓ Para optimizar el proceso se aplica el control Proporcional Integral Derivativo (P.I.D.), para controlar la temperatura, logrando así un rendimiento efectivo en la recuperación de aceite esencial de limón, y seguridad en las operaciones de manejo. Las simulaciones generadas se pueden describir mediante gráficas dinámicas, optimizando así los procedimientos de operación.
- ✓ Se puede desarrollar e implementar instrumentación para el control para empresas locales dedicadas a la producción de aceite esencial de naranja.

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere que después de obtener el modelo para la destilación por arrastre de vapor, los trabajos futuros explorarán las últimas investigaciones existentes en la literatura sobre optimización y algoritmos de inteligencia artificial. Todo ello con el objetivo de poder construir un prototipo controlado capaz de conducir y mantener el sistema en las condiciones deseadas para las mejores necesidades.

- Por tanto, las recomendaciones para el futuro de este trabajo son continuar la investigación directamente sobre procesos industriales, adaptando el modelo a las condiciones reales que existan para implementar el algoritmo de control diseñado.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] S. Suwal y et al., «Food Bioprod. Process.,» nº 109, pp. 41-51, 2018.

[2] J. Chen y et al., «Bioresour. Technol.,» nº 144, pp. 680-683, 2013.

[3] S. R. Wickramasinghe y D. L. Grzenia, «Desalination,» nº 234, pp. 144-151, 2008.

[4] J. W. Lee y et al., «Sep. Purif. Technol.,» nº 122, p. 242–247, 2014.

[5] M. Aghazadeh y A. S. Engelberth, «Biotechnol. Prog.,» nº 32, pp. 971-7, 2016.

[6] M. Taha y et al., «J. Chem. Thermodyn.,» nº 47, p. 154–161, 2012.

[7] L. Lintomen y et al., «J. Chem. Eng. Data,» nº 45, p. 1211–1214, 2000.

[8] J. Douglas y M. Douglas, Conceptual Design of Chemical Processes. Chemical engineering series, Boston. USA: McGraw-Hill, 1988.

[9] S. Altway y et al., «J. Chem. Thermodyn.,» nº 82, p. 93–98, 2015.

[10] R. Hitess, «Gas chromatography with mass spectrometer,» *School of public and Environmental affairs and Department of Chemistry,* 2019.

[11] H. J. Williamms y et al., «New sesquiterppene a- methylene lactone from the Egyptian plants Jasoniacandicans,» *J. Nat. Prod.,* nº 56, p. 1276–1280, 1993.

[12] K. Satish Kumar, «Extraction Of Essential Oils By Steam Distillation Method,» *B.Tech Project ,NIT Rourkela,* 2010.

[13] S. Huda y et al., «Mejora del rendimiento de recuperación de ésteres metílicos de aceite vegetal para la producción de biorresina: un estudio comparativo mediante neutralización ácida,» *ChemEngineering,* vol. 8, nº 16, 2024.

[14] U. D. V. Rico-Ramírez, «Distillation | Multicomponent Distillation,» *Encycl. Sep. Sci.,* p. 1071–1081, 2000.

[15] N. Kockmann, «History of distillation. In Distillation,» *Academic Press,* p. 1–43, 2014.

[16] G. Hüsnü Can Başer y K. Buchbauer, Handbook of essential oils: science, technology, and applications, 2 ed., 2015.

[17] A. A. Kiss, «Distillation technology-still young and full of breakthrough opportunities,» *J. Chem. Technol. Biotechnol,* vol. 89, nº 4, p. 479–498, 2014.

[18] E. Stauffer y et al., «Extraction of Ignitable Liquid Residues,» *Fire Debris Anal.,* p. 377–439, 2008.

[19] L. Cseri y et al., «Organic Solvents in Sustainable Synthesis and Engineering,» *Green Chem. An Incl. Approach,* p. 513–553, 2018.

[20] F. L. Cerpa y et al., Steam distillation applied to the food industry, 2008.

[21] M. A. Rosa y et al., Supercritical and pressurized fluid extraction applied to the food industry, CRC Press, 2008, p. 272–400.

[22] M. Samadi y et al., «Assessing the kinetic model of hydro-distillation and chemical composition of Aquilaria malaccensis leaves essential oil,» *Chinese J. Chem. Eng.,* vol. 25, nº 2, p. 216–222, 2017.

[23] J. Azmir y et al., «Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review,» *J. Food Eng.,* vol. 117, nº 4, p. 426–436, 2013.

[24] C. M. Galanakis, «Food Waste Recovery: Processing Technologies, Industrial Techniques, and Applications,» *Acad. Press. Press.,* p. 127, 2020.

[25] C. M. Galanakis, *Acad. Press. Press.,* p. 127, 2020.

[26] P. M. Kris-Etherton y et al., «Bioactive compounds in foods: Their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer,» *Am. J. Med.,* vol. 113, nº 8, p. 71–88, 2002.

[27] M. Palenzuela y et al., «Polymerization of terpenes and terpenoids using metal catalysts,» *Adv. Organomet. Chem.,* vol. 75, p. 55–93, 2021.

[28] R. S. Jackson, «Chemical Constituents of Grapes and Wine,» *Wine Sci.,* p. 270–331, 2008.

[29] D. Kumar y et al., «Comparative functional and spectroscopic análisis of spent hen meat hydrolysate by individual and combined treatment of microbial proteases,» *Prep. Biochem. Biotechnol,* vol. 51, nº 6, p. 618–627, 2021.