



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA HIDRODESTILADORA PARA LA
OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO DE CALIDAD

AUTOR:

WELINGTON JOSUÉ CAMPOS LANSINOT

DIRECTOR:

MSC. IVAN IGLESIAS

Ibarra-Ecuador

2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003437355		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Wellington Josué Campos Lansinot		
DIRECCIÓN:	Espinoza del Monteros 6-81 y Av. Atahualpa		
EMAIL:	camposjosue7@yahoo.com		
TELÉFONO FIJO:	2651247	TELÉFONO MÓVIL:	0994395928
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	AUTOMATIZACION DE MÁQUINA HIDRODESTILADORA PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO DE CALIDAD.		
AUTOR (ES):	Campos Lansinot Wellington Josué		
FECHA: AAAAMMDD	20 de Julio del 2015		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/>	PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mecatrónica		
ASESOR /DIRECTOR:	Msc. Iván Iglesias		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Campos Lansinot Welington Josué, con cedula de identidad Nro. 1003437355, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros

Ibarra, a los 12 días del mes de noviembre de 2015

EL AUTOR:



.....

Campos Lansinot Welington Josué

Cédula: 100343735-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Campos Lansinot Wellington Josué**, con cedula de identidad Nro. **1003437355**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado **“AUTOMATIZACION DE MÁQUINA HIDRODESTILADORA PARA LA OBTENCION DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO DE CALIDAD”** que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 12 días del mes de noviembre de 2015

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Campos Lansinot Wellington Josué".

.....
Campos Lansinot Wellington Josué

Cédula: 100343735-5

DECLARACIÓN

Yo Welington Josué Campos Lansinot, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica establecido por las Leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de Grado, presentado por el señor Welington Josué Campos Lansinot, para optar por el título de ingeniero en Mecatrónica, certifico que dicho trabajo fue realizado bajo mi supervisión.



Msc. Iván Iglesias
DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Parece que fue ayer cuando empecé esta etapa de mi vida, en ella pude notar la bendición de Dios por lo que agradezco principalmente a él por ser mi fortaleza y ayuda, la comprensión y aliento de mis padres por confiar en mí, a mis hermanos por la tranquilidad que me brindaban en momentos especiales, así como el apoyo incondicional de mi Maru, mi tía Cristina y resto de familiares, por hacer de esta etapa una más liviana.

Así como brindar el justo reconocimiento a mis compañeros, amigos y hermanos Fernando, Francisco y resto de amigos que acompañaron y prestaron su tiempo y ayuda en todo momento.

Al Msc. Iván Iglesias, que más que ser un tutor se ha convertido en un nuevo amigo, gracias por el tiempo brindado y la paciencia prestada, así como sus justos consejos.

A mi amigo Pablo y Aleida León por la confianza brindada al permitirme trabajar en la máquina.

A Compassion International por la fe depositada en mí.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la universidad Técnica del Norte que no dudaron en prestarme atención y ayuda cuando necesitaba.

Josué C.

DEDICATORIA

El Presente trabajo de grado lo dedico a mis padres por todo el tiempo que estuvieron conmigo alentándome y confiando en mí.

A mi abuelita Beatriz por brindarme todo de ella, sin esperar las gracias.

Josué C.

CONTENIDO

CAPÍTULO I

1.1	CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.1.2	IMPORTANCIA.....	2
1.1.3	PROPÓSITO.....	3
1.2	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL ECUADOR	3
1.2.1	PRODUCTOS TRADICIONALMENTE EXPORTADOS.....	3
1.2.2	PRODUCTOS PRIMARIOS NO TRADICIONALES.....	4
1.1	PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS NO TRADICIONALES.....	5
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.5	OBJETIVOS.....	10
1.5.1	OBJETIVO GENERAL.....	10
1.5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.6	JUSTIFICACIÓN.....	11
1.7	ALCANCE.....	11

CAPÍTULO II

2.1	INTRODUCCIÓN.....	13
2.1.1	ACEITES ESENCIALES.....	13
2.2	ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO.....	13
2.2.1	EUCALYPTUS GLOBULUS.....	14
2.2.2	PARTES UTILIZADAS.....	15
2.2.3	PROPIEDADES.....	16
2.2.4	CARACTERÍSTICAS.....	16
2.3	EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN.....	17
2.3.1	COMPONENTES PRINCIPALES.....	19
2.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN.....	23

2.5	CARACTERIZACIÓN Y ESTADOS DEL PROCESO.....	24
2.5.1	LLENADO (TFILL).	25
2.5.2	OBTENCIÓN (TSD).....	25
2.5.3	NO ESTACIONARIO (TNS).....	25
2.5.4	ESTACIONARIO (TS).....	25
2.6	EQUILIBRIO TÉRMICO.....	26
2.7	PRIMERA LEY TERMODINÁMICA.....	27
2.7.1	CONVECCIÓN DE SIGNOS.....	28
2.7.2	PROCESOS CÍCLICOS.....	29
2.7.3	SISTEMAS AISLADOS.	30
2.8	RELACIONES DE ENTRADA – SALIDA Y RENDIMIENTO.....	30
2.9	BALANCE DE MASA Y ENERGIA.....	30
2.9.1	BALANCE DE MASA.....	31
2.9.2	BALANCE DE ENERGÍA.....	33
2.9.3	BALANCE DE ENERGÍA PARA SISTEMAS CERRADOS.....	33
2.9.4	BALANCE DE ENERGÍA EN SISTEMAS ABIERTOS DE RÉGIMEN ESTACIONARIO.....	34
2.9.5	FLUJO DE MASA Y VOLUMEN.....	35
2.9.6	ENERGÍA INTERNA.....	36
2.10	TRANSMISIÓN DE CALOR.....	39
2.10.1	IMPORTANCIA.....	39
2.10.2	CONDUCCIÓN.	40
2.10.3	DIFUSIÓN.....	43
CAPÍTULO III		
3.1	INTRODUCCIÓN.....	45
3.3	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	45
3.3.1	VARIABLES A OBTENER.....	45
3.4	INICIALIZACIÓN.....	45
3.5	PRESIÓN DE EUCALIPTO (VALORPRES).....	47
3.6	BALANCES.....	51
3.6.1	FRACCIÓN MOLAR.....	52

3.6.2 BALANCE DE MATERIA.....	54
3.6.3 BALANCE DE ENERGIA.....	58
CAPÍTULO IV	
4.1 INTRODUCCIÓN.....	64
4.2 SISTEMA DE SEGURIDAD VS SISTEMA DE CONTROL.....	66
4.3 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.....	68
4.3.1 SISTEMAS NEUMÁTICOS.....	68
4.3.2 SISTEMAS CON RELÉ.....	69
4.3.3 LOS SISTEMAS DE ESTADO SÓLIDO.....	69
4.3.4 SISTEMAS BASADOS EN PLC´S.....	69
4.3.5 SISTEMAS MICROPROCESADOR.....	70
4.3.6 SOFTWARE DEL SISTEMA.....	70
4.3.7 HARDWARE DEL SISTEMA.....	71
4.3.8 SELECCIÓN DE SISTEMA.....	71
4.3.9 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS.....	73
4.4 ESQUEMA DE CONTROL.....	77
4.4.1 BLOQUE DE ENCENDIDO.....	79
4.4.2 BLOQUE DE CONTROL.....	80
4.5 TABLERO DE CONTROL.....	83
4.5.1 ARQUITETURA DEL TABLERO.....	85
CAPÍTULO V	
5.1 PRUEBAS REALIZADAS.....	88
5.1.1 PRUEBA DE ENCENDIDO DE LLAMA.....	89
5.1.2 RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS.....	89
5.2 MATERIAL A HIDRODESTILAR.....	91
5.2.1 LLENADO DE CALDERO.....	92
5.2.2 DESTILACIÓN DE ACEITE.....	94
5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	96
CAPÍTULO VI	
6.1 CONCLUSIONES.....	99
6.2 RECOMENDACIONES.....	100

7	BIBLIOGRAFÍA.....	101
8	ANEXOS.....	104
MANUAL DE USUARIO		
1.1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.2	TABLERO DE CONTROL.....	4
1.2.1	VISTA FRONTAL.....	4
1.2.2	VISTA INTERIOR.....	5
1.3	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.....	6
1.3.1	PRECAUCIONES GENERALES DEL SISTEMA.....	6
1.4	PUESTA EN MARCHA.....	9
1.4.1	SELECCIÓN DE MODO DE FUNCIONAMIENTO.....	9
1.4.2	PARO DE EMERGENCIA.....	12
1.5	MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	13
1.5.1	MANTENIMIENTO DE LOS ACCESORIOS QUE SOPORTAN EL SISTEMA	13
1.5.2	MANTENIMIENTO DE LA ETAPA DE CONTROL.....	14
1.6	LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS.....	14

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 MURAL EGIPCIO REFERENTE A ACEITE ESENCIAL.....	2
FIGURA 1.2 EXPORTACIÓN ECUATORIANA.....	3
FIGURA 1.3 PRODUCTOS TRADICIONALMENTE EXPORTADOS.....	4
FIGURA 1.4 PRODUCTOS NO TRADICIONALES EXPORTADOS.....	5
FIGURA 1.5 EXPORTACIONES DE PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS NO TRADICIONALES MILES USD.....	6
FIGURA 1.6 OTRAS EXPORTACIONES DE PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS NO TRADICIONALES MILES USD.....	7
FIGURA 2.1 EUCALYPTUS GLOBULUS.....	14
FIGURA 2.2 DIAGRAMA DE UN HIDRODESTILADOR TIPO LABORATORIO.....	18
FIGURA 2.3 DIAGRAMA DE UN HIDRODESTILADOR.....	18
FIGURA 2.4 CALDERÍN.....	19
FIGURA 2.5 EXTRACTOR EN CORTE.....	20
FIGURA 2.6 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS DE ACERO INOXIDABLE.....	21
FIGURA 2.7 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO VISTA EN CORTE.....	22
FIGURA 2.8 FLORENTINO.....	22
FIGURA 2.9 DECANTADOR DE ACEITE CON FLORENTINO EN CORTE.....	23
FIGURA 2.10 LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA.....	27
FIGURA 2.11 PROCESO CÍCLICO TERMODINÁMICO DE UN HUMANO.....	29
FIGURA 2.12 RELACIÓN FLUJO MÁSIKO Y ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL REDONDO.....	35
FIGURA 2.13 RELACIÓN FLUJO MÁSIKO Y ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	36
FIGURA 2.14 CONDUCCIÓN DE CALOR A TRAVÉS DE UNA PARED PLANA...	40
FIGURA 3.1 TEMPERATURA - PRESIÓN SUSTANCIAS PURAS.....	51
FIGURA 3.2 BALANCE DE MASA.....	58
FIGURA 3.3 BALANCE GENERAL DE ENERGÍA.....	59
FIGURA 3.4 GASES DE COMBUSTIÓN FINALES.....	61

FIGURA 4.1 ESQUEMA IDEAL DEL CONTROL DE CALDERA INDUSTRIAL EN EXTRACCIÓN DE ACEITES.....	64
FIGURA 4.2 FLUJO GRAMA DE DEMANDA DE SEGURIDAD.....	66
FIGURA 4.3 PLACA ARDUINO UNO VISTA FRONTAL.....	72
FIGURA 4.4 PLACA ARDUINO UNO VISTA TRASERA.....	72
FIGURA 4.5 TERMOCUPLA TIPO J.....	74
FIGURA 4.6 SENSOR DE FLAMA.....	75
FIGURA 4.7 SERVOMOTOR HS-322HD.....	76
FIGURA 4.8 ELECTROVÁLVULA ZD-131.....	77
FIGURA 4.9 BLOQUES DEL PROCESO.....	78
FIGURA 4.10 FLUJOGRAMA GENERAL.....	78
FIGURA 4.11 FLUJOGRAMA DEL BLOQUE DE ENCENDIDO.....	80
FIGURA 4.12 FLUJOGRAMA DE CONTROL.....	81
FIGURA 4.13 DIAGRAMA DE LA TERMOCUPLA.....	82
FIGURA 4.14 FLUJOGRAMA DE BLOQUE DE ACTUADORES.....	83
FIGURA 4.15 DIAGRAMA DE CONTROL EN BLOQUES.....	84
FIGURA 4.16 TABLERO DE CONTROL EN 3D.....	85
FIGURA 4.17 ARQUITECTURA INTERNA DEL TABLERO DE CONTROL.....	86
FIGURA 4.18 TABLERO DE CONTROL VISTA DE FRENTE.....	87
FIGURA 5.1 CIRCUITO EN PROTOBOARD.....	88
FIGURA 5.2 ETAPAS DE ENCENDIDO.....	89
FIGURA 5.3 ENCENDIDO DE LLAMA.....	89
FIGURA 5.4 LLAMA ENCENDIDA.....	90
FIGURA 5.5 REACCIÓN VS PRESIÓN ELEVADA.....	91
FIGURA 5.6 PESAJE DE HOJAS DE EUCALIPTO.....	92
FIGURA 5.7 LLENADO DE CALDERO CON HOJAS DE EUCALIPTO.....	93
FIGURA 5.8 CALDERO SELLADO.....	93
FIGURA 5.9 ACEITE EXTRAÍDO.....	94
FIGURA 5.10 HOJAS DESTILADAS.....	95
FIGURA 5.11 TIEMPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE.....	95
FIGURA 5.12 PLACA DE CONTROL.....	96

FIGURA 5.13 ARMADA DE TABLERO DE CONTROL.....	97
FIGURA 5.14 ARMADA DEL TABLERO DE CONTROL CON BOTONES.....	97
FIGURA 5.15 INSTALACIÓN ELEMENTOS MECÁNICOS.....	98
FIGURA 5.16 SISTEMA IMPLEMENTADO.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 PRINCIPALES PRODUCTOS EXPORTADOS POR EL ECUADOR AL MUNDO.....	8
TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS INTERNAS PRINCIPALES.....	16
TABLA 2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO ARRASTRE POR VAPOR.....	24
TABLA 2.3 CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS DE ALGUNOS MATERIALES A LA TEMPERATURA AMBIENTE.....	42
TABLA 2.4 VALORES TÍPICOS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN.....	44
TABLA 3.1 EQUIVALENCIA MMHG A PSI.....	47
TABLA 3.2 ANTOINE PARA EL AGUA.....	48
TABLA 3.3 CONSTANTES DE ANTOINE PARA EL EUCALYPTOL.....	48
TABLA 3.4 RESUMEN ANTOINE PARA AGUA Y EUCALIPTO.....	49
TABLA 3.5 PRESIONES A DISTINTAS TEMPERATURAS CON ANTOINE.....	49
TABLA 3.6 PESOS DE SUSTANCIAS PURAS.....	53
TABLA 3.7 COMPOSICIÓN DE SUSTANCIAS Y PESO MOLECULAR.....	53
TABLA 3.8 MOLES DE SUSTANCIAS PURAS.....	54
TABLA 3.9 COMPOSICIÓN INICIAL DEL PROCESO.....	56
TABLA 3.10 COMPOSICIÓN EVAPORADA EN EL PROCESO.....	57
TABLA 3.11 CONTENIDO A LA SALIDA DEL PROCESO.....	57
TABLA 3.12 GASES DE COMBUSTIÓN INICIALES.....	60
TABLA 3.13 AGUA DE ENTRADA.....	62
TABLA 3.14 VAPOR DE SALIDA.....	62
TABLA 3.15 CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DEL HIDRODESTILADOR	63
TABLA 4.1 TIPOS DE FALLO DE SEGURIDAD.....	67
TABLA 4.2 SISTEMA DE CONTROL VS SISTEMA DE SEGURIDAD.....	68
TABLA 4.3 CARACTERÍSTICAS ARDUINO UNO R3.....	72
TABLA 4.4 TIPOS DE TERMOPARES.....	74
TABLA 4.5 CARACTERÍSTICAS SERVOMOTOR HITEC HS-322HD.....	76
TABLA 4.6 CARACTERÍSTICA ELECTROVÁLVULA ZD-131.....	77

TABLA 4.7 COLORES DE CABLE.....85

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 2.1 VARIACIÓN DE ENERGÍA.....	28
ECUACIÓN 2.2 PROCESO CÍCLICO (PRIMERA LEY).....	29
ECUACIÓN 2.3 TRABAJO Y CALOR EN SISTEMAS ASILADOS.....	30
ECUACIÓN 2.4 ENERGÍA INTERNA EN SISTEMAS ASILADOS.....	30
ECUACIÓN 2.5 ENERGÍA NETA TRANSFERIDA.....	33
ECUACIÓN 2.6 ENERGÍA INICIAL DEL SISTEMA.....	33
ECUACIÓN 2.7 ENERGÍA INICIAL DEL SISTEMA.....	34
ECUACIÓN 2.8 ENERGÍA EN SISTEMA ABIERTO.....	34
ECUACIÓN 2.9 ENERGÍA EN SISTEMA ABIERTO DE RÉGIMEN ESTACIONARIO.....	35
ECUACIÓN 2.10 FLUJO MÁSSICO.....	35
ECUACIÓN 2.11 ENERGÍA POTENCIAL.....	36
ECUACIÓN 2.12 ENERGÍA CINÉTICA.....	37
ECUACIÓN 2.13. ENERGÍA INTERNA.....	38
ECUACIÓN 2.14 CAMBIO DE LA ENERGÍA INTERNA.....	38
ECUACIÓN 2.15 RAZÓN DE CONDUCCIÓN DEL CALOR.....	41
ECUACIÓN 2.16 LEY DE NEWTON DEL ENFRIAMIENTO.....	43
ECUACIÓN 3.1 MASA.....	46
ECUACIÓN 3.2 ANTOINE.....	47
ECUACIÓN 3.3 FRACCIÓN MOLAR.....	52
ECUACIÓN 3.4 BALANCE DE MATERIA GENERAL.....	54
ECUACIÓN 3.5 MASA INICIAL EN HIDRODESTILADOR.....	55
ECUACIÓN 3.6 BALANCE DE MASA POR COMPONENTE PARA EL EUCALYPTOL.....	55
ECUACIÓN 3.7 BALANCE DE MASA POR COMPONENTE PARA EL AGUA.....	55
ECUACIÓN 3.8 MASA FINAL DE VAPOR CON AGUA FLORAL EN CALDERO...	57
ECUACIÓN 3.9 ECUACIÓN GENERAL DE ENERGÍA.....	58
ECUACIÓN 3.10 MASA NECESARIA DE COMBUSTIBLE.....	59
ECUACIÓN 3.11 ENTALPIA.....	60

RESUMEN

Este proyecto se fundamenta en los procesos de control automatizado, con bases en la termodinámica, la necesidad de proporcionar seguridad al operador, contribuir con una extracción de aceite de alta calidad y un correcto manejo de los recursos a ser utilizados.

El objetivo principal del siguiente proyecto es el de realizar un control automático que regule el flujo de combustible a ser consumido, este será aquel predominante que provea de mayor temperatura al vapor generado al interior de la caldera, el vapor generado golpea a las hojas provocando una exudación en el material herbáceo, la que será posteriormente condensada. Para realizar dicha operación se contará con elementos mecánicos y electrónicos, los que brindarán seguridad y seguimiento de todo el proceso.

Para el encendido de la llama se cuenta con bujías de alto voltaje y su intensidad se controla con un servomotor acoplado a un mecanismo de engranes, que permite controlar el paso de gas. La señal de control es proporcionada por una *termocupla tipo J*, que por medio de la *ecuación de Antoine* brinda la presión a la cual se debe de trabajar; todo este proceso se logra ejecutar y controlar a través de la placa de control *Arduino Uno*, la que también permite la comunicación visual con el operador por medio de una LCD colocada en el panel de control.

Además de los elementos electrónicos se cuenta con un manómetro y una válvula mecánica de presión, para proporcionarle al sistema dos modos de funcionamiento, el automático y manual, brindando comodidad al momento de operar en la máquina hidrodestiladora.

SUMMARY

This project is based on automated control processes, with bases in thermodynamics, the need to provide operator safety, contribute extraction of high quality oil and proper management of resources to be used.

The main aim of this project is to perform an automatic control to regulate the flow of fuel to be consumed, this will be the dominant one that provides higher temperature steam generated within the boiler, and the steam generated hits the leaves causing a bleeding in the herbal material, which will be subsequently condensed. To perform this operation there will be mechanical and electronic elements, which provide security and monitoring of the whole process.

To ignite the flame has high voltage spark and intensity is controlled by a coupled to a gear mechanism, which controls the gas flow. The control signal is provided by a type J thermocouple, that through the Antoine equation gives the pressure at which it must work; this process is achieved by implementing and monitoring the control board Arduino Uno, which also allows visual communication with the operator through an LCD placed on the control panel.

In addition to the electronics it is has a pressure gauge and a mechanical pressure valve system to provide two operating modes, automatic and manual, offering comfort when operating in the hidrodestiladora machine.

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el siguiente capítulo se detalla la importancia de esta investigación, así como ha ido desenvolviéndose en el contexto nacional sus exportaciones como importaciones

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

La importancia de los aceites esenciales a nivel mundial, la poca creatividad y uso que se da a nivel nacional, es la principal temática a tratar.

1.1.1 ANTECEDENTES

El uso de los aceites esenciales ha venido acompañando al hombre desde la aparición de las civilizaciones.

En la biblia, así como en algunos pasajes de la historia mundial se recopilan más de 188 referencias en base a los aceites esenciales, algunos como el incienso, la mirra, el romero, la casia y la canela, estos se utilizaban para la unción y la curación de enfermedades. Adicionalmente, los profetas bíblicos reconocieron el uso de los aceites esenciales como protección contra las enfermedades

A través de la historia, romanos, chinos, griegos, egipcios han descubierto las propiedades de los aceites esenciales, por sus múltiples aplicaciones y usos. Estos últimos, hacen del uso de los esencias tanto como han podido. Dentro de la practica medica ha sido uno de los tratamientos elegidos para ser aplicado a sus heridas, ya que registros datan de sus aplicaciones hace más de 3500 años, utilizándolos además en campos como el de la belleza y principalmente en sus actos religiosos, siendo estos tan preciados, que se utilizaban para cambiar por oro; en la Figura 1.1 se observa un mural egipcio haciendo referencia a los aceites esenciales.

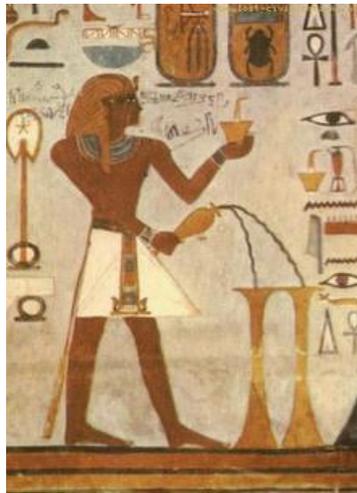


Figura 1.1 Mural egipcio referente a aceite esencial

Fuente: (Aromaterapia Egipcia, 2014)

El principio moderno de los aceites esenciales y de la aromaterapia comenzó a florecer en las primeras décadas del siglo XX. En julio de 1910, explotó el laboratorio del químico cosmético francés, René-Maurice Gattefossé, Ph.D., dejando su mano y el brazo en llamas. Del pánico, él se sumergió el brazo en lo que supuso que era agua, sin embargo, en realidad contenía aceite de lavanda puro. Se sorprendió gratamente a los efectos analgésicos y temiendo mayores daños debido al accidente, continuó con la aplicación regular de aceite de lavanda. La herida sanó con muy poca cicatrización. Luego, él investigó la química del aceite con el fin de descubrir qué propiedades causaron este tremendo efecto curativo. Gattefossé continuó sus exploraciones de los compuestos curativos de otros aceites esenciales. Sus estudios sentaron las bases para el uso clínico de los mismos.

Los extractos de aceites esenciales fueron usados a través de la era del Oscurantismo en Europa por sus propiedades anti-bacteriales y fragantes, en 1937 Rene-Maurice Gattefosse, quien utilizo el aceite de lavanda para curar quemaduras en una mano, el Dr. Valnet quien se convirtió en un líder mundial en el tema de la aromaterapia, usó aceites esenciales para tratar a soldados quienes fueron heridos en la segunda guerra mundial.

1.1.2 IMPORTANCIA

El siguiente proyecto pretende mejorar la producción y extracción del aceite esencial de eucalipto, así como preservar el bienestar del operador y un control adecuado de la maquina a ser usada.

1.1.3 PROPÓSITO

El poder contar con una mejoría en la producción del aceite de eucalipto, y el de aportar con la seguridad de la máquina, permite incrementar su rentabilidad, recuperando la inversión en corto plazo, obteniendo mayores ganancias.

1.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN EL ECUADOR

En su totalidad, la industria petrolera en el Ecuador abarca más del 50% del total exportado en el país, no obstante, existe actividad de exportación de aceites esenciales pero no se le brinda la debida atención.

El Ecuador al ser una tierra rica en flora , tiene infinidad de plantas que poseen propiedades únicas en el mundo, es reconocido por sus flores, y por la cantidad de medicina natural escondida en sus selvas y montes, no obstante, no se ha brindado la suficiente investigación y comercialización de las mismas, a través de sus aceites esenciales. El banco Central del Ecuador da información detallada de estos procesos, en la Figura 1.2 podemos apreciar la evolución de las exportaciones en el país, confirmando que la principal actividad de exportación es la del petróleo.

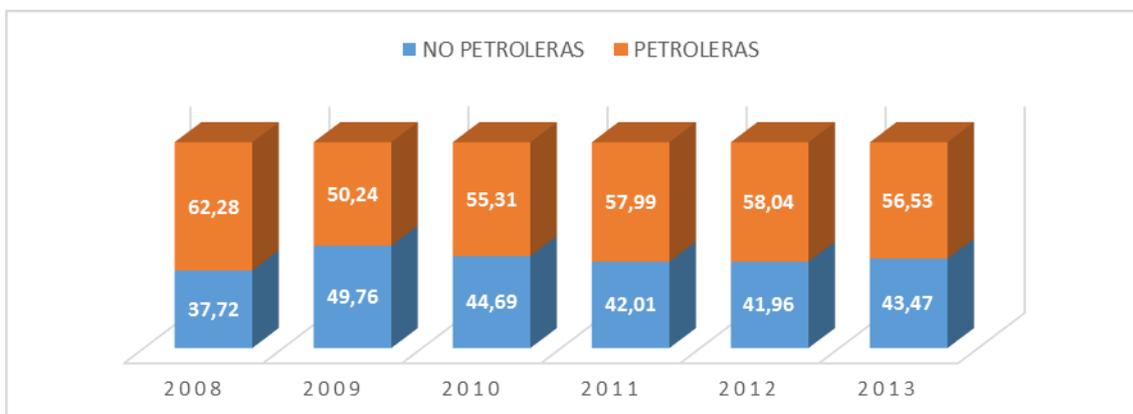


Figura 1.2 Exportación Ecuatoriana
Fuente: (Ecuador, PRO ECUADOR, 2014)

1.2.1 PRODUCTOS TRADICIONALMENTE EXPORTADOS

En los últimos años el mercado de exportaciones de productos tradicionales con los que el Ecuador se da a conocer ha ido aumentando. Al referirnos a productos tradicionales de exportación, se hace énfasis a tales como el

banano, camarón, atún, así como el café, cacao y sus derivados, mercado por el cual el Ecuador es mundialmente conocido, en la Figura 1.3 se puede apreciar al detalle la exportación de los productos anteriormente mencionados.

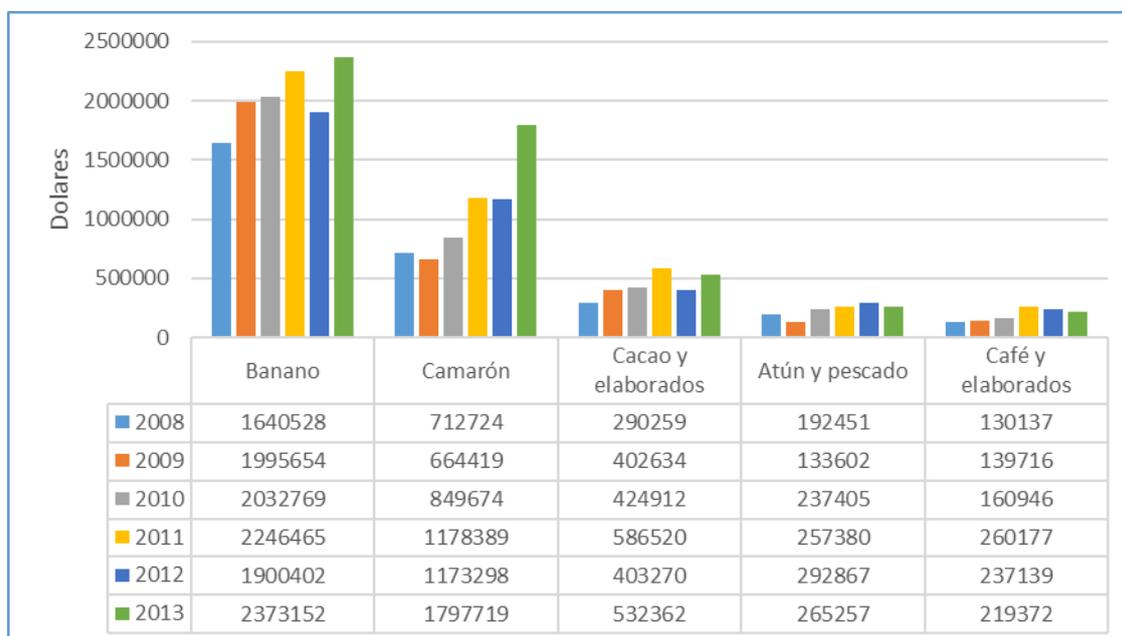


Figura 1.3 Productos tradicionalmente exportados

Fuente: (Ecuador, PRO ECUADOR, 2014)

De acuerdo a los datos obtenidos a partir del Banco Central del Ecuador, se puede observar claramente que el mayor producto exportado es el banano, seguido por el camarón.

1.2.2 PRODUCTOS PRIMARIOS NO TRADICIONALES

El Ecuador es un país de exportación primaria, es decir este exporta como principales productos granos, alimentos y trigos, etc. Los productos primarios no tradicionales del Ecuador al mundo están constituidos principalmente por Flores naturales, Abacá, Madera, Productos mineros, Frutas y Tabaco en rama. La Figura 1.4 muestra la tendencia de las exportaciones de estos productos, como se ha mantenido creciente durante estos últimos cinco años principalmente en Flores naturales y Madera.

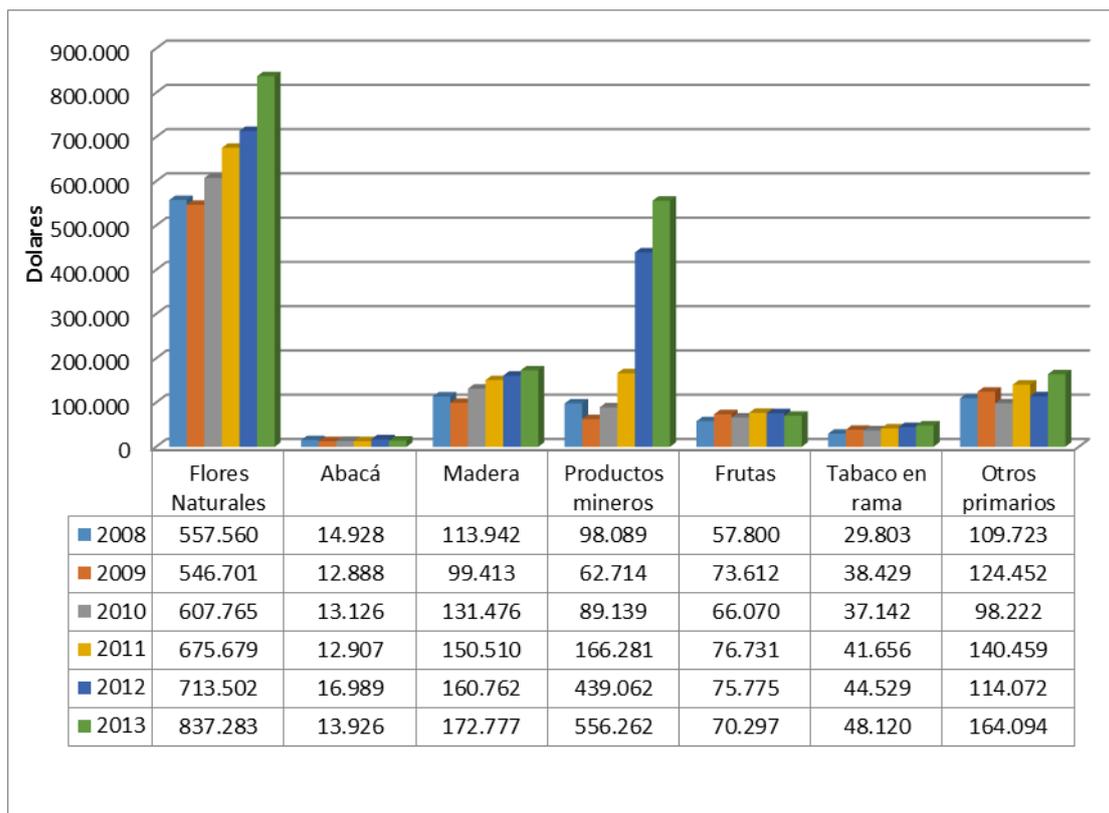


Figura 1.4 Productos No tradicionales Exportados

Fuente: (Ecuador, PRO ECUADOR, 2014)

1.1 PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS NO TRADICIONALES

En las Figuras 1.5 y 1.6 se puede apreciar los productos no tradicionales que el Ecuador exportó en el periodo 2008-2013 encontrándose como el mayor producto exportado a los enlatados de pescado, y en las prendas de vestir como el producto con menos exportaciones en este mismo periodo.

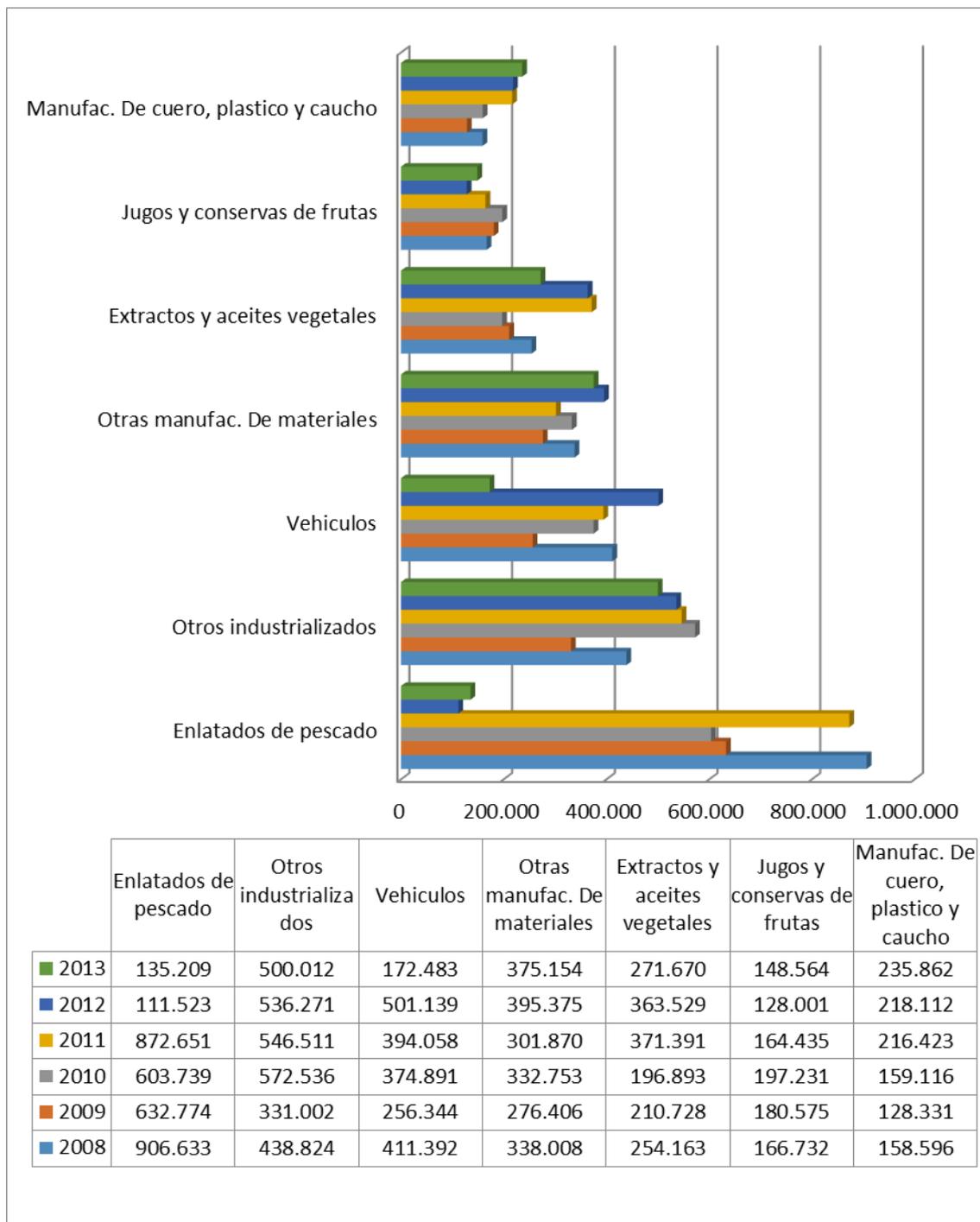


Figura 1.5 Exportaciones de productos industrializados no tradicionales miles USD

Fuente: (Ecuador, PRO ECUADOR, 2014)

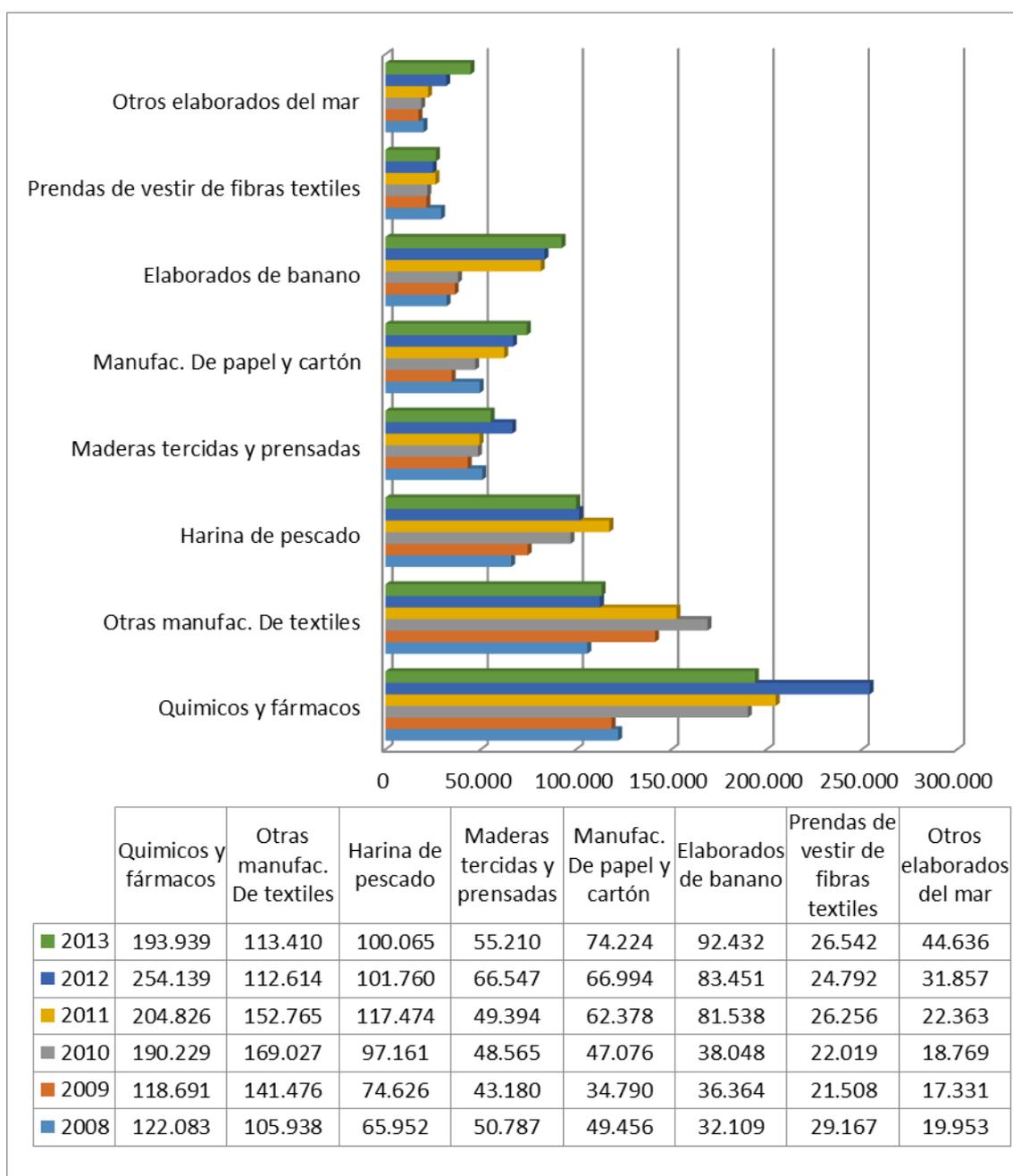


Figura 1.6 Otras exportaciones de productos industrializados no tradicionales miles USD

Fuente: (Ecuador, PRO ECUADOR, 2014)

Si bien es cierto y en los gráficos proporcionados por el Banco Central del Ecuador, se puede apreciar a los Extractos y aceites vegetales, cabe recalcar que si difiere un poco; en base al tema de investigación estos aceites comercializados al exterior en su gran mayoría son de uso comestible, mas no necesariamente utilizados para tratamientos medicinales o en uso para aromaterapia, en la Tabla 1.1 se puede observar de una manera más concreta,

en que magnitud se exporta los principales productos hacia el mundo entero, teniendo en cuenta que Ecuador es reconocido principalmente por sus rosas, su cacao, el camarón e incluso extractos y esencias derivadas del café.

Tabla 1.1 Principales productos exportados por el Ecuador al mundo

SUBPARTIDA	DESCRIPCIÓN	Miles USD FOB	%Participación 2013
2709.00.00.00	ACEITES CRUDOS DE PETRÓLEO DE MINERAL BITUMONOSO	13,411,759	53.70%
0803.90.11.00	BANANO TIPO CAVENDISH VALERY	2,263,727	9.07%
1604.14.10.00	ATUNES EN CONSERVA	998,109	4.00%
0306.17.99.00	CAMARONES, LANGOSTINOS Y DEMAS DECAPODOS	854,806	3.43%
0603.11.00.00	ROSAS	610,459	2.45%
0306.16.00.00	CAMARONES, LANGOSTINOS Y DEMAS DECAPODOS DE AGUA FRIA	586,302	2.28%
2710.19.22.00	FUELOILS (FUEL)	535,337	2.14%
1801.00.19.00	LOS DEMÁS CACAO EN GRANO PURO	427,087	1.71%
7108.12.00.00	LAS DEMÁS FORMAS DEL ORO EN BRUTO	420,235	1.68%
0306.17.19.00	LOS DEMAS LANGOSTINOS	240,222	0.96%
1604.20.00.00	LAS DEMÁS PREPARACIONES Y CONSERVAS DE PESCADO	213,370	0.85%
2101.11.00.00	EXTRACTOS, ESENCIAS Y CONCENTRADOS DE CAFÉ	190,132	0.76%
2301.20.11.00	HARINA DE PESCADO CON CONTENIDO DE GRASA SUPERIOR A 2%	145,021	0.58
2707.50.10.00	NAFTA DISOLVENTE	142,384	0.57%
1511.10.00.00	ACEITE DE PALMA EN BRUTO	140,172	0.56%
	DEMÁS	3,796,525	15.21
TOTAL PRODUCTOS		21.887.092	100%

Fuente: (Ecuador, PRO ECUADOR, 2014)

Como se observa, se exportan aceites esenciales, pero la realidad no es muy óptima ni tan visionaria, debido a que la mayor cantidad de aceites esenciales elaborados en el país son a raíz de los derivados del café, la explotación de petróleo, la industria pesquera, maderera, y en fin muchas más, causas que limitan el aprovechamiento de todos los recursos que están a disposición, ocupando el interés en industrias que posiblemente pueden estar sobre dimensionadas, dejando un desaprovechamiento y una falta de interés en emprendimientos como la presente investigación. De esta forma siendo el Ecuador un país tan rico en biodiversidad vegetal, dejamos pasar oportunidades como esta, donde no solo la automatización puede dar fruto, sino investigaciones de nuevas plantas, con propiedades curativas que se pueden expandir a través del uso de aceites esenciales en formas medicinales.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La tala de árboles tales como eucalipto, pino, ciprés y otros, en nuestro país son con el fin de, aprovechar su madera, dejando muchas de las veces como desperdicio sus hojas y su follaje; sin tomar en cuenta que su potencial químico y aromático se encuentran en las hojas, y siendo aprovechados por muy pocos. La esencia proveniente del "*eucalyptus Glóbulus*" tiene un sabor fresco y aromático, olor ligeramente alcanforado y es de color amarillo canario pálido, que se extrae por múltiples procesos, los cuales si no son controlados pueden generar pérdidas monetarias, e incluso generar lesiones al operario.

La presente máquina utiliza la hidrodestilación como método para obtener la esencia, que básicamente consiste en llevar a ebullición una mezcla de agua y material vegetal aromático, condensando directamente los vapores generados, donde, en el tanque extractor se evapora la mezcla rompiendo el vegetal en sus moléculas para liberar su esencia

En este proceso, los aceites producidos son más coloreados y tienden a presentar un cierto olor a quemado en caso de no tratar de una manera adecuada la presión del vapor, que directamente relacionada, con la temperatura alcanzada, lo que lleva a requerir una etapa posterior de refinación y con esta volver a llevar a ebullición al líquido obtenido, con el fin de aumentar la calidad del aceite. El funcionamiento actual de la máquina es completamente

manual, lo que trae consigo un aceite que muchas de las veces necesita ser refinado para obtener una buena calidad, descuidando la seguridad que brinda la máquina al momento que el operario trabaja con ella.

Teniendo en cuenta estos parámetros, el principal objetivo de este trabajo de grado se concentra en controlar la temperatura del vapor que se encuentra bajo presión para obtener una esencia de buena calidad, trayendo consigo la generación de llama y control de la misma, y las seguridades necesarias al momento de trabajar con ella, aumentando la confiabilidad de la máquina y mejorando la calidad del aceite.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La máquina a trabajar presenta un manejo manual y con seguridades que no aportan fiabilidad al operario al momento de trabajar, obteniendo una producción de aceite que no siempre es la deseada.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Controlar la temperatura que alcanza el vapor para obtener una esencia de eucalipto.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los parámetros a controlar en los procesos que intervienen en la extracción de aceite por el método de Hidrodestilación.
- Diseñar el esquema de control que será implementado en la máquina para su modernización.
- Implementar los diferentes sistemas que permitan automatizar la máquina Hidrodestiladora.
- Realizar pruebas y ajustes de funcionamiento del sistema implementado, con el fin de que cumpla con los parámetros establecidos en el diseño.
- Elaborar el manual de usuario para el manejo de la máquina Hidrodestiladora.

1.6 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el aceite de eucalipto se usa en el sector medicinal para las infecciones respiratorias en sus diferentes presentaciones como pastillas y jarabes, en cremas para dolores musculares, como también en desinfectantes e incluso veterinarios usan el aceite de manera tópica por su indicada actividad antibacteriana, en el campo de masajes como aliviador de estrés, su uso como un aromático en jabones y perfumes, como saborizante de alimentos, en bebidas y como un solvente de uso odontológico e industrial.

La máquina Hidrodestiladora de aceite cuenta con lo necesario para poder producir un aceite de eucalipto, sin embargo debido a que la máquina es de tipo manual y no tiene un adecuado control de presión y tiempo de procesamiento de la materia prima, el aceite obtenido no es de la más óptima calidad, además que no brinda la debida seguridad al operario al momento de manipularla.

La alternativa propuesta es automatizar el control de temperatura del vapor, acoplándola a un diseño similar al de los calderos industriales (tipo pirotubulares, calderas verticales) evitando la excesiva temperatura y presión de vapor con la que se extrae al aceite de las hojas, de tal manera que se consiga la temperatura adecuada para romper al vegetal en sus moléculas y liberar su esencia pura, ya que el aceite se encuentra en forma de moléculas aromáticas en el interior del lecho vegetal, teniendo en cuenta las debidas seguridades de este control (tiempos de encendido, tiempos de verificación, alarmas, apagados de emergencia, etc.)

1.7 ALCANCE

La orientación del presente proyecto se enfoca hacia el control de la temperatura de manera autónoma, afectando la presión necesaria para obtener un aceite de esencia pura de eucalipto, mediante el método de hidrodestilación.

El proceso a controlar tendrá subconjuntos dependientes de la temperatura de vapor, como la generación de llama, la cual consta de un encendido automático

mediante un ignisor de llama, que origina una chispa de alto voltaje que al unirse al gas licuado de petróleo (butano) se produce una llama, este ignisor funcionará únicamente cuando no haya flama y se necesite encenderla nuevamente.

Por seguridad, el paso de gas estará controlado por una electroválvula, que delimitara el paso general del gas y otra que controlará el avance hacia el ignisor (generador de llama). Todos estos subsistemas dependerán uno de otro ya que si no hay flama y se desea volver a encenderla es necesario seguir una secuencia de encendido que será inspeccionada por un controlador, así se garantizar que el encendido se haga de manera segura, siguiendo protocolos de seguridad en calderas.

La ejecución de los subsistemas mencionados dependerá de la temperatura de vapor, esta medición será comparada con el set-point en el controlador y obedecerá de este que la flama continúe con cierta intensidad estable, así la temperatura interna del caldero aumente o por el contrario disminuya; este controlador manejará sensores y actuadores que lograrán que la presión y temperatura interna del caldero aumente o disminuya, manteniendo el set-point con valores ideales.

Los valores y rangos de operación se obtendrán a partir de tablas de comparación entre el balance de energía y masa, estos son conseguidos por modelos matemáticos que se los adquirirán en el transcurso de las pruebas a realizarse en la propia máquina.

Para la seguridad de este sistema, se contará con una válvula de seguridad, lo que evitará que la presión y temperatura aumente, desfogando el vapor reprimido en el interior del caldero, un manómetro que medirá la presión interna, en caso que algún sólido obstruya la salida de vapor. Aparte de estas, tendrá seguridades brindadas por el controlador en su programación, como temporizadores en la secuencia de encendido así como su constante chequeo de temperatura, sensor de presencia de llama, permitiendo dar una seguridad aun mayor, alcanzando calidad en el producto final y por ende una mayor confianza en el operario al momento de trabajar con la misma.

2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Para obtener una esencia de cualquier planta, es necesario contar con el equipo adecuado, así como un conocimiento adecuado de los fenómenos físicos que puede contener este proceso, en este capítulo, detallamos tanto la máquina a usar, como su historia y procesos.

2.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se procede a describir la base teórica para realizar el presente trabajo de investigación.

2.1.1 ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son *“Productos obtenidos a partir de una materia prima vegetal, bien por arrastre con vapor, bien por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los Citrus, o bien por destilación seca. El aceite esencial se separa posteriormente de la fase acuosa por procedimientos físicos en los dos primeros modos de obtención; puede sufrir tratamientos físicos que no originen cambios significativos en su composición”* (Moncayo, 2012)

El suizo y alquimista Paracelso logro entender y llevar este concepto a otro nivel, en el cual sostenía y consideraba a la esencia pura de una flor, o de una planta como su alma, su parte más interna, donde sencillamente denotaba como la parte activa de todo su ser, siendo esta la que le daba su olor y color característico a cada una de ellas.

2.2 ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO

La esencia pura proveniente del “eucaliptus Glóbulus” tiene características muy específicas ya que posee un sabor fresco y aromático, el olor que emana al ser recién extraído es ligeramente alcanforado y es de color amarillo (canario pálido), esta esencia es extraída por múltiples procesos, los cuales si no son controlados pueden generar pérdidas monetarias, e incluso generar lesiones al operario.

2.2.1 EUCALYPTUS GLOBULUS

Siendo propiamente de la región de Australia, este se posesiona en toda la región norte de Sur América, estando presente en partes de Venezuela, así como en Colombia, Perú y por supuesto en Ecuador.

Aceptado por muchos, por su gran tamaño siendo uno de los más altos en las zonas ya mencionadas, muchos de estos pueden prolongarse hasta superar los 45 metros de altura, el aprecio por su madera y su rápido crecimiento hace que sea cultivado para prontamente ser usado en construcciones, ya que se emplea su tronco para elaborar tablas, columnas y vigas para uso en cimentaciones, ya que su tronco puede llegar a medir los 3 metros de ancho, consumido y aprovechado como leña, el follaje se lo aprovecha de la misma forma o se desfibra para usar como sogá.

Muchos tienen al eucalipto en desagrado, la figura 2.1 muestra al eucalipto en su estado natural, debido a que son árboles que ocupan gran espacio de terreno, si estos son cultivados de una mala forma puede erosionar el suelo existente, y si no se controla de manera adecuada su rápido crecimiento puede generar pérdidas en los campos cultivados cerca a estos.



Figura 2.1 Eucalyptus globulus

Fuente: (Lorenzo, 2015)

Una de las propiedades que tiene el eucalyptus globulus es la de generar néctar, el mismo que sirve de alimento a múltiples especies tales como los

picaflores, insectos, abejas, y muchos otros que encuentran en este beneficios, a este tipo de árboles se les denomina melíferos

2.2.2 PARTES UTILIZADAS

Su aprovechamiento llega a ser de nivel industrial, su rápido crecimiento y sus dimensiones dan para tal aprovechamiento.

Su tronco se usa como:

- Madera para la construcción, por ejemplo para elaborar columnas, vigas y tablas.
- Vías para ferrocarriles.
- Pulpa de papel.
- Postes para cercas.
- Leña.

Sus hojas se aprovecha para

- Extraer su esencia se potencializa y se la da usos en la medicina, farmacología, aromaterapia, perfumería.
- Hojas aromáticas en la cocción de alimentos.
- Ambientales en sitios cerrados.

Sus frutos se utilizan:

- En aromaterapia como incienso.
- Como carbón, para mantener el fuego encendido por largo tiempo

Con sus hojas y todo el árbol:

- Para producir y extraer néctar (árbol melífero).

2.2.3 PROPIEDADES

Sus propiedades se centran en un alto porcentaje de Eucalyptol, y son ocupadas con mayor frecuencia en el ambiente de la medicina, ya que este actúa como un poderoso antimicrobiano, comprobando y respaldado por estudios en laboratorios, se lo usa en los enjuagues vocales, sus propiedades antibacteriales lo hacen ideal para este tipo de tratamientos.

Se lo ha usado en casos de malaria e incluso en el tratamiento del asma, debido a sus propiedades como antiséptico e incluso como antifúngico¹, siendo este empleado para tratamientos contra la tos, problemas relacionados a los pulmones, sinusitis, interviniendo como poderoso purificador de vías respiratorias, y en muchas otras más.

“Rociando al ambiente que nos rodea una mezcla que contenga 2% de aceite de eucalipto, permitirá matar un 70% de las bacterias de estafilococos presentes en el aire” (Jean Valnet (Busto, 2008))

2.2.4 CARACTERÍSTICAS

Cada esencia tiene sus propias características, lo que les convierten en sus huellas digitales, capaces así de distinguirse uno del otro, la tabla 2.1 indica lo que al aceite de eucalipto le hace diferente del resto.

Tabla 2.1 Características internas principales

Olor (Organolépticas)	Fuerte-característico
Color (Organolépticas)	Café amarillento claro
Densidad (g/ml)	0,921
Rendimiento (hojas)	0,8
Índice de refracción	a 20°C: 1.458 a 1.470

Fuente: (Chile, 2015)

¹ Antifúngico: Se llama así a toda sustancia que tiene la capacidad de evitar el crecimiento de algunos tipos de hongos o incluso de provocar su muerte (lexicoon, lexicoon.org, 2015)

Propiedades organolépticas: Término con énfasis en la conexión directa que se tiene entre los cinco sentidos y la planta, es decir, lo que se percibe con los sentidos. (lexicoon, lexicoon, 2015)

Densidad: Es una concentración que únicamente depende de sus características internas, siendo está relacionada entre su propia masa y volumen. (lexicoon, lexicoon, 2015)

Rendimiento: Es el resultado de una reacción química, obteniendo así una cantidad de cierta producto tratado. (lexicoon, lexicoon, 2015)

Índice de refracción: Se refiere al proceso de extracción de aceite, donde se debe de tratar de tener una viscosidad constante en todo el proceso. (lexicoon, lexicoon, 2015)

2.3 EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN.

El método de hidrodestilación toma su nombre debido a, que su fuente principal es el vapor de agua, ubicado en la parte inferior de la máquina, con el fin de llevar una corriente de vapor hacia el material herbáceo, que está ubicado sobre una parrilla librándolo del contacto con el agua, el vapor liberando golpea al material vegetal y libera moléculas aromáticas, mezclándose con la corriente de vapor, estos pasan por un serpentín el cual permite condensar el vapor, de tal forma que cae en forma de líquido en un florentino, o también llamado separador de fases, y así poder recolectar la esencia, definiéndose así como un proceso que usa vapor saturado para conseguir aceite esencial.

A nivel laboratorio se tiene en el calderín mezcla de agua y material vegetal a ser extraído, teniendo en cuenta que se puede recircular el agua ya condensada juntamente con su esencia, para este tipo de extracción al igual que a cualquier escala, se debe de tomar las seguridades necesarias durante todo el proceso de destilado.

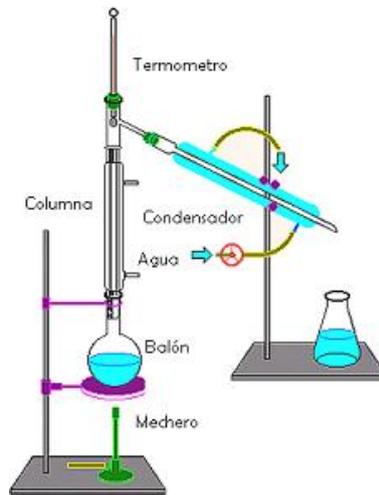


Figura 2.2 Diagrama de un hidroddestilador tipo laboratorio

Fuente: (Antioquia, 2015)

La extracción por hidroddestilación es una técnica muy usada debido a su fácil manejo y obtención de esencia, pero así mismo puede ocasionar pérdidas materiales y su mal uso puede ocasionar pérdidas no solo monetarias.

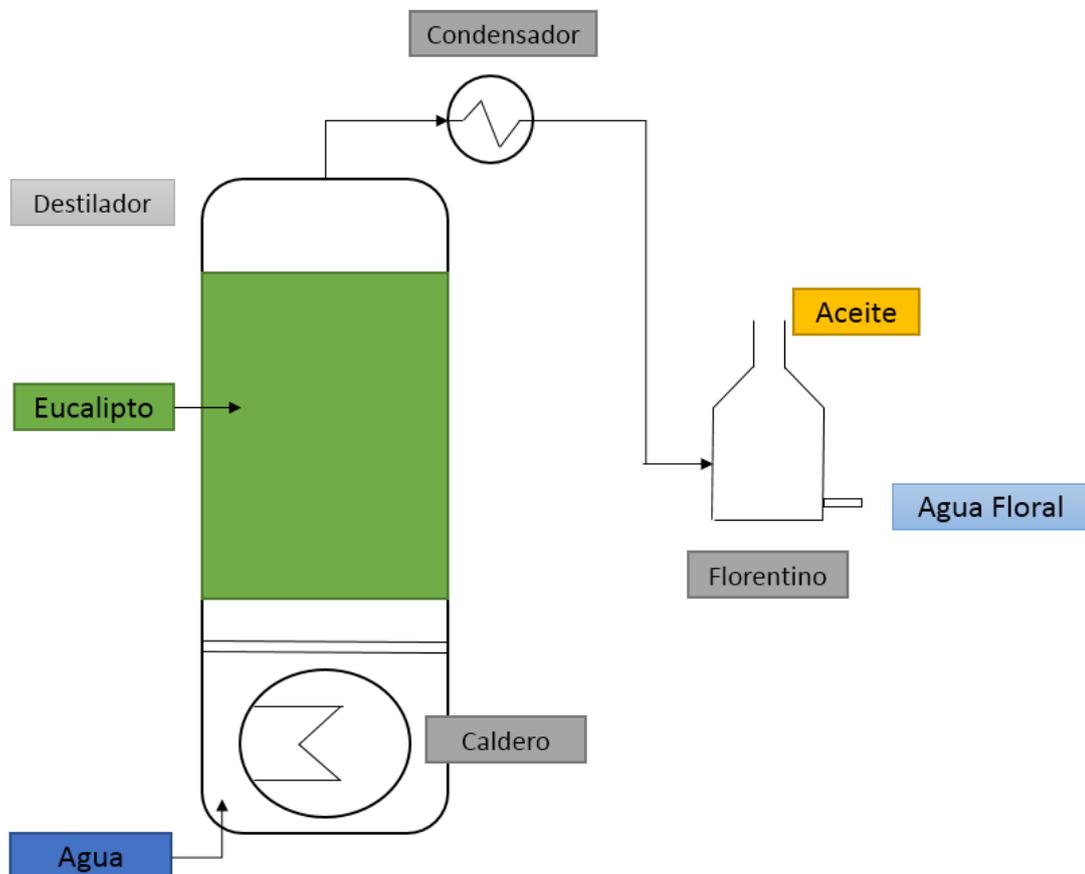


Figura 2.3 Diagrama de un hidroddestilador

2.3.1 COMPONENTES PRINCIPALES

a) Generador de vapor. (Caldera)

Las Calderas o Generadores de vapor en su definición se los trata como dispositivos útiles para calentar agua, al usar el calor proveniente de un combustible, sea este sólido, líquido, o gaseoso, vaporizando el agua que se deposita en su interior para ser usado posteriormente.

Las calderas en sus distintos tipos usan un compartimiento para el agua que con el calor se convertirá en vapor y otro para el consumo de su combustible, su elaboración y diseño es construido en acero inoxidable, debido a que tiene contacto directo con el fuego, la Figura 2.4 presenta un calderín que consta del depósito para el agua y para el material con el que se trabaja.



Figura 2.4 Calderín

b) Extractor

Este es un tanque en el cual se deposita el material herbáceo a ser tratado, para ello el material se deposita sobre una parrilla que permite separar el material y el agua, para el caso del proyecto, el tanque que se utiliza se

encuentra dentro del caldero, es decir es de tipo integral, permitiendo que el vapor generado golpee directamente al producto a ser obtenido su aceite esencial.

Es de acero inoxidable, y se encuentra ubicado dentro del caldero, provisto en la parte superior de una tapa de sello hermético, dando lugar a un intercambiador de calor llamado serpentín, conectado a este por medio de un tubo de acero inoxidable.

Está provisto de una válvula que permite escapar el vapor condensado, en la parte superior está dotado de una tapa con sellado hermético, que da paso a la unión con el condensado, se aprecia mejor en la Figura 2.5



Figura 2.5 Extractor en corte

c) Condensador o intercambiador de calor

Su principal función es la de permitir la transferencia de calor entre fluidos, y para nuestro caso es la de permitir la condensación o enfriamiento del vapor de agua y el vapor de aceite, que viene de arrastre desde el extractor,

posibilitando así la fase líquida de ambos, la figura 2.6 indica un intercambiador de calor de tubo.



Figura 2.6 Intercambiador de calor de coraza y tubos de acero inoxidable

Las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- La transferencia de calor se da a un cuerpo de mayor temperatura a uno menor, por lo cual se lo utiliza para calentar un fluido.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.

La teoría en cuanto a la transferencia de calor nos dice que el calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el fluido con menor temperatura, el caso del proyecto a ejecutarse, el contacto entre ambos líquidos es nulo, debido a que los separa la pared del intercambiador, la cual al

igual que toda la maquina es de acero inoxidable, esta descripción se observa en la figura 2.7

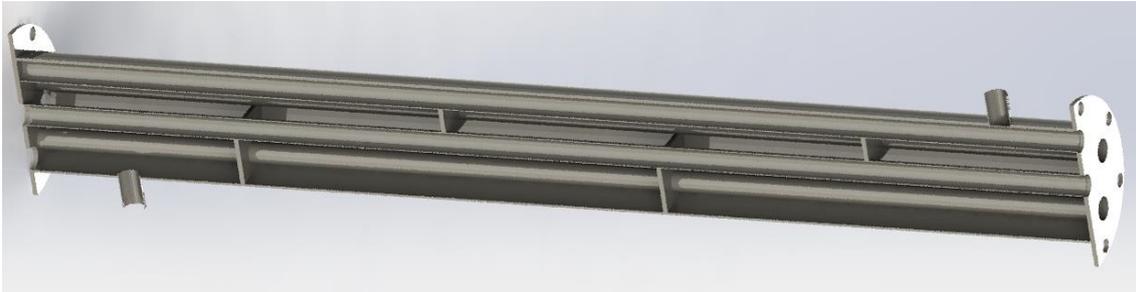


Figura 2.7 Intercambiador de calor de tubo vista en corte

d) El vaso separador

El vaso o recipiente donde se almacena el vapor condensado tiene por nombre florentino, este tiene una capacidad de almacenamiento de 20 litros, su principal función es la de separar la parte del aceite con la del agua recién condensada, dejando a flote en la parte superior el aceite recién extraído.

El material en el cual es hecho es de acero inoxidable, para mayor facilidad al momento de extraer el aceite, es necesario colocar cierta cantidad de agua en el florentino, así conforme vaya destilando, se puede separar fácilmente el agua del aceite, ya que este florentino es diseñado para aceites densos, existen otros recipientes para distintos usos, la Figura 2.8 muestra el florentino a ser usado, diseñado en acero inoxidable y con vertientes para separar el agua del aceite.



Figura 2.8 Florentino

e) Decantador (Recolector)

Este equipo está destinado a la recolección de todo el aceite, siendo separado el agua del aceite, el equipo está hecho de acero inoxidable, para evitar la contaminación de la esencia, ya que se encuentra al aceite en su esencia más pura.

Es prudente dejar en reposo absoluto al aceite recién extraído por un lapso de una hora, esto permite que las gotas que todavía están inmersa en la mezcla de agua y aceite se puedan unir, luego de todo este tiempo de descanso el aceite queda en la parte superior del recipiente, dejando así que sea más fácil ser retirado, la figura 2.9 indica un florentino y decantador unidos (florentino a ser usado), es útil y conveniente cuando se realiza procesos semi-industriales.



Figura 2.9 Decantador de aceite con florentino en corte

2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN

En la tabla 2.2 se aprecia las principales ventajas y desventajas de usar el método de extracción por arrastre de vapor

Tabla 2.2 Ventajas y desventajas del método arrastre por vapor

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No se requiere de un calderín que se encuentre separado de todo el conjunto generador de vapor	Los aceites producidos son más coloreados.
Son prácticos y de fácil traslado permitiéndolo usar incluso el campo.	Tienden a presentar un cierto olor a quemado
Se requiere de instalaciones básicas de herrería para la construcción y mantenimiento del equipo.	Se requiere una etapa posterior de refinación
Son barato	Una operación incorrecta de este método puede producir un aceite esencial de baja calidad y con evidente aroma a tostado
Son fáciles de instalar	
Seguros, fáciles de operar y presentan un consumo energético bajo	Su principal inconveniente es la alta temperatura de operación, que lo hace inapropiado para aquellos aceites esenciales con componentes sensibles al calor
En su más simple expresión se trata de aplicaciones de principios de ingeniería Mecánica y Química	

2.5 CARACTERIZACIÓN Y ESTADOS DEL PROCESO

La extracción de aceite es poca, ya que el material vegetativo a ser hidrodestilado no es el suficiente para tener cantidades considerables de extracto esencial (carga por lotes), por lo que el proceso es semi-continuo, pero el vapor tiene que ser continuo, para ello se tiene dos tiempos en los cuales se produce dichas operaciones.

2.5.1 LLENADO (TFILL).

Este tiempo es referible al proceso que tarda en aparecer la primera gota de aceite, esta parte del proceso comienza cuando se logra suministrar el flujo de vapor constante al hidrodestilador, ya que si se mide con anterioridad este flujo de vapor es inconstante, teniéndose en cuenta que este depende mucho de la filtración en las hojas y del caudal con el que se está inyectando.

2.5.2 OBTENCIÓN (TSD).

Proceso que toma en cuenta el tiempo en que el volumen del aceite recogido en el florentino no sufre variación alguna, consta de dos periodos, el tiempo estacionario y no estacionario.

2.5.3 NO ESTACIONARIO (TNS).

El equilibrio térmico o llamada también como la ley cero, es crucial en este punto, debido a que cita: Dos cuerpos separados, que están en equilibrio térmico con un tercer cuerpo, también están en equilibrio térmico entre sí. (Rolle, 2006) Teniendo en cuenta que la temperatura de los cuerpos que actúan en el sistema se llega a igualar entre sí, mas no es así con la energía de cada uno de ellos, el equilibrio hidrodinámico juega su rol aquí, trayendo consigo la hidrodinámica del vapor, su transporte de calor, condiciones térmicas inmiscuidas, tanto del vapor como de fenómenos físicos que intervienen, como la exudación², fenómenos que tienen su importancia en todo el proceso, ya que compete directamente en la velocidad y el tiempo de adquisición del aceite, tiempo durante el cual se logrará alcanzar entre el 60 y el 70% del aceite total procesado.

2.5.4 ESTACIONARIO (TS).

Del mismo modo que el equilibrio termodinámico jugó en el tiempo no estacionario, este influye también en el tiempo estacionario, hasta que salga la última gota de aceite extraído y caiga en el florentino y este no varíe, este

² Exudación: Salida de una sustancia o un líquido a través de los poros o las grietas del recipiente que lo contiene

tiempo dependerá de fenómenos difusionales³, los cuales retrasan la adquisición del aceite restante y que esta de forma suelta en la capa de vapor del caldero, o del interior de la materia prima.

El hidroddestilador a ser usado es de tipo piloto, al igual que los industriales no cuentan con un aislamiento perfecto, incluso los de nivel de laboratorio, se encuentran aislados parcialmente, para lo cual es mucho más complicado adquirir una relación de carga-volumen que a nivel de laboratorio.

Al hacer uso de esta relación se suele obtener problemas, ya que oscila mucho debido a los múltiples factores que se supo manifestar con anterioridad, trabajando para evitar la retro mezcla del aceite y el direccionamiento del vapor por otras vías obteniendo una mejor velocidad de obtención, para lo cual es necesario reducir la carga del material a ser procesado, y lograr obtener una menor porosidad formando una capa más compacta.

El beneficiarse de una capa más compacta y reducir la porosidad del lecho implica trabajar con menor carga en materia prima, pero esto no representa el cortar o reducir el tamaño de la materia prima (refiriéndose a hojas pequeñas) ya que la fricción que se produciría en el interior de la caldera generaría una pérdida de material antes de lograr ser hidroddestilado.

2.6 EQUILIBRIO TÉRMICO

También llamada ley cero, el equilibrio térmico trata de que dos cuerpos sean estos "X" y "Y" logren permanecer en valores definidos, sin importar las condiciones externas del sistema que le rodean, a este punto se le llama equilibrio.

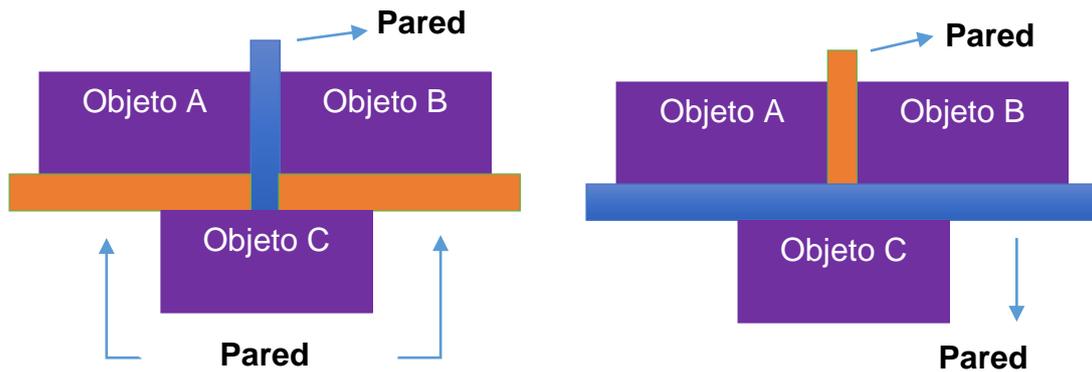


Figura 2.10 Ley cero de la termodinámica

Fuente: (Zemansky, 1985)

“Dos cuerpos separados en equilibrio térmico con un tercer cuerpo, también están en equilibrio térmico entre sí” (Collieu, n.d.)

Donde el equilibrio térmico se da en dos o más sistemas una vez que hayan estado en contacto entre sí a través de una pared diatérmica

2.7 PRIMERA LEY TERMODINÁMICA

Al hablar sobre esta ley, se habla directamente sobre el trabajo y la energía, donde un sistema al entregar calor, recibe trabajo y así mismo en caso de entregar trabajo, recibe energía.

Es por ello que esta ley se constituye en el primer principio de la termodinámica

“La energía que no se crea, ni se destruye, solo se transforma” (Lavoisier, xx)

Ley de la conservación de energía

Expresando matemáticamente se dirá que:

$$Q = W$$

Dónde: **Q** es el calor suministrado por el sistema al medio ambiente

W es el trabajo realizado por el medio ambiente al sistema durante el ciclo.

Como consecuencia de este principio, se puede decir que, si hubo un aumento de energía en un sistema, se requiere que otro sistema haya podido perder la misma cantidad ganada por el primer sistema.

$$\Delta E_{Sistema} + \Delta E_{Alrededor} = 0$$

Si un sistema experimenta un cambio de energía $\Delta E_{Sistema}$, el resto del universo, o los alrededores, deben de experimentar un cambio de energía de la misma magnitud pero de signo opuesto.

La ley de la conservación de la energía da paso a la primera ley de la termodinámica, en la cual se fija que la variación de la energía interna de un sistema, esta es igual a la suma de la energía transferida en forma de calor y la energía transferida, en forma de trabajo

Ecuación 2.1 Variación de energía

$$\Delta E = q + w$$

Fuente: (Cengel, 2010)

q = energía transferida en forma de calor.

w = energía transferida en forma de trabajo.

Dando como conclusión que la variación de energía interna es igual a la suma del intercambio de calor entre el sistema y los alrededores y el trabajo realizado por (o sobre) el sistema.

2.7.1 CONVECCIÓN DE SIGNOS

El calor que logra entrar al sistema, así como el trabajo que logra realizar sobre el sistema, son positivos, mientras que el calor que sale del sistema y trabajo que sean saliendo del sistema, se los considera como negativos.

Si entra es positivo y si sale es negativo



Los valores asignados como positivos y negativos, solo son con objeto de realizar cálculos, ya que no existe un trabajo negativo o un calor negativo, como un trabajo y calor que sean positivos.

En un proceso cíclico

$$\Delta E = 0$$

Entonces

$$q = -w$$

Conociendo la convención de signos, se puede decir que el trabajo realizado por el sistema es igual al que ha sido absorbido por el mismo sistema.

2.7.2 PROCESOS CÍCLICOS

El proceso cíclico hace referencia a un sistema que siempre vuelve a su estado inicial, donde el estado inicial es igual al estado final, por lo que su energía interna será igual a cero.

Ecuación 2.2 Proceso cíclico (primera ley)

$$U_2 = U_1 \text{ y } Q = W$$

Fuente (Friddman, 2009)

La Figura 2.11 indica con un ejemplo más práctico a que se refiere un proceso cíclico, aumentando la primera ley termodinámica; en caso de que este sistema durante todo el proceso haya realizado un trabajo, cuyo valor sea específico (W) deberá de haber ingresado al sistema la misma cantidad de energía en forma de calor (Q).

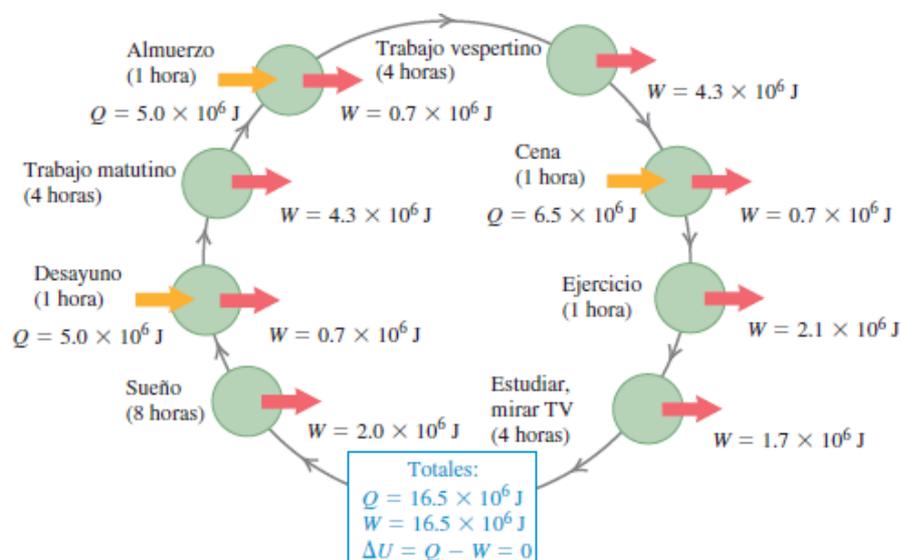


Figura 2.11 Proceso cíclico termodinámico de un humano

Fuente: (Friddman, 2009)

La cantidad de energía que se gasta, sirve para proveer de energía, la cual se consume en la efectuación de un trabajo (el respirar, caminar, correr, etc.) llega un punto donde esta se termina y se vuelve el estado inicial en el cual se encontraba antes de ingerir alimentos.

2.7.3 SISTEMAS AISLADOS.

Es aquel sistema en el cual no se hay intercambio de ninguna índole, tanto material como energético, debido a esto se tiene que:

Ecuación 2.3 Trabajo y calor en sistemas asilados

$$W = 0 = Q$$

Fuente (Kern, 1999)

Es decir que la energía interna de un sistema completamente aislado es constante.

Ecuación 2.4 Energía interna en sistemas asilados

$$U_2 = U_1 \text{ y } \Delta U = 0$$

Fuente (Friddman, 2009)

2.8 RELACIONES DE ENTRADA – SALIDA Y RENDIMIENTO

Se refiere a la eficiencia que se espera en la caldera, al momento de todo el proceso de extracción de aceite, específicamente la relación latente entre, el calor suministrado por el caldero y absorbido por el agua del caldero.

Con el rendimiento se espera obtener una relación entre el agua a ser calentada y el combustible necesario para dar paso a la transferencia de calor necesaria para satisfacer la presión y temperatura de vapor.

2.9 BALANCE DE MASA Y ENERGIA

Da cavidad al principio de conservación de la energía, su principal utilización es el de dar conteo a los distintos flujos, temperaturas presentes y activas en operación y alrededores, que puedan afectar a dicho proceso.

Este tema, comprende los cálculos necesarios para obtener una aproximación de las velocidades inmiscuidas en el transporte y movimiento de calor en todo el sistema, así como poder transferir y acumular energía.

De acuerdo a la necesidad de cada sistema o proceso a ser calculado, se estimara la cantidad de datos a ser tomados en cuenta, dicho sea de paso, la exactitud del análisis varia en estos, ya que entre más datos se tengan, más exacto será el cálculo.

Para el cálculo a darse en este trabajo de grado, se conoce que el elemento a tratarse será el agua, por lo cual es de vital importancia el conocer su presión de vapor, así como el estar conscientes a que temperatura logra entrar en estado de ebullición, su calor específico, y resto de propiedades.
"Equivalencias de la Conductividad Calorífica"

Permitiendo con esto:

- Conocer la cantidad de calor que se va a transferir en el intercambiador de calor en un cierto tiempo.
- Especificar las condiciones de operación (entrada y salida) y la escala del proceso.

Dicho de otra manera, los flujos de masa y de energía involucrados en todo el proceso de destilación, son los que permiten escribir los balances, a través de un control de volumen y de tiempo.

2.9.1 BALANCE DE MASA

El balance de masa es aquella expresión que tiene como función el de contabilizar los materiales existentes en los flujos de entrada y salida dentro de un sistema o proceso realizado.

Teniendo en cuenta esto

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Acumulación}$$

Es decir, toda la masa que logra entrar en un proceso específico, tiene que ser la misma masa que sale, añadiendo la masa que se ha quedado o se acumulado en dicho proceso.

Este principio se puede desarrollar:

- Sistema con entradas, salidas y reacciones químicas.



- Sistema sin reacciones químicas.



- Sistema en estado estacionario, no hay acumulación ni reacciones químicas.



- Sistema sin corrientes de entrada ni de salida, pero con reacción química



Cuando hay algún cambio dentro del sistema (refiriéndose a las moles) se refiere al término de acumulación.

Cuando no haya algún cambio dentro del sistema, se trata de un proceso “estacionario”, caso contrario estaremos en uno “no estacionario” generándose ecuaciones diferenciales para la resolución de dicho caso.

2.9.2 BALANCE DE ENERGÍA

El balance de la energía de un sistema compete en contar con todas las energías inmiscuidas en todo el sistema, es decir, que se toma en cuenta a la energía cinética, a la energía potencial, y a la energía interna, realizando una sumatoria de estas.

2.9.3 BALANCE DE ENERGÍA PARA SISTEMAS CERRADOS

De acuerdo a la existencia de una transferencia de masa a través de las fronteras del sistema, mientras haya un periodo de tiempo durante el cual este fluyendo el balance de energía, se dirá si el sistema es cerrado o abierto.

En general, un sistema es cerrado cuando no existe una transferencia de masa

De acuerdo al tiempo del proceso, se puede generar una ecuación que satisfaga el balance de energía

Ecuación 2.5 Energía neta transferida

$$E_f - E_i = E$$

Fuente: (Kern, 1999)

Donde:

E_f = Energía final del sistema

E_i = Energía inicial del sistema

De aquí:

Ecuación 2.6 Energía inicial del sistema

$$U_i + Ec_i + Ep_i = E_i$$

Fuente (Kern, 1999)

Ecuación 2.7 Energía inicial del sistema

$$U_f + Ec_f + Ep_f = E_f$$

Fuente (Kern, 1999)

Si desarrolla.

De la Ecuación 2.1 Energía transferida (ΔE) = Q + W

$$\Delta E = Et_2 - Et_1$$

Desarrollada aún más

$$Q + W = (U_f - U_i) + (Ec_f - Ec_i) + (Ep_f - Ep_i)$$

$$\Delta E = \Delta U + \Delta Ec + \Delta Ep$$

Donde la energía que se transporta puede ser en forma de calor o de trabajo.

2.9.4 BALANCE DE ENERGÍA EN SISTEMAS ABIERTOS DE RÉGIMEN ESTACIONARIO

Un régimen estacionario, es aquel donde no se produce un cambio significativo, por no decir variaciones de estado.

Para poder ser un sistema abierto, debe de transferir materia o masa, es necesario que se ejecute un trabajo sobre el sistema para que cumpla esta condición, esta masa saliente es la que genera un trabajo que se localiza alrededor del sistema.

Dicha energía es la que se debe de incorporar a la ecuación para que se cumpla satisfactoriamente en un régimen abierto.

Ecuación 2.8 Energía en sistema abierto

$$\Delta E = Et_2 - Et_1 = Q + W = \Delta (H + Ec + Ep)$$

Fuente (Cengel, 2010)

Donde H es la entalpia, y al ser un régimen estacionario, es decir donde la entrada es igual a la salida, no hay variedad de energía, o una acumulación de ella, se tiene

Ecuación 2.9 Energía en sistema abierto de régimen estacionario

$$\Delta E = Q + W = \Delta (H + E_c + E_p)$$

Fuente (Cengel, 2010)

2.9.5 FLUJO DE MASA Y VOLUMEN

Se denomina flujo másico (\dot{m}) a la porción de masa que logra pasar a través de una área determinada.

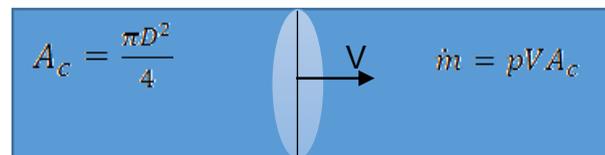


Figura 2.12 Relación flujo másico y área de la sección transversal redondo

Fuente: (Cengel, 2010)

En el grafico se puede apreciar A_c que no es más que, el área de la sección transversal por donde pasa el fluido, para este caso es de una sección redonda.

El flujo másico que pasa por un tubo o ducto se puede expresar como

Ecuación 2.10 Flujo másico

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

Fuente: (Cengel, 2010)

ρ = Es la densidad

V = Es la velocidad promedio

\dot{m} se mide en kg/s

Se denomina volumen másico o flujo volumétrico a aquel volumen del fluido que logra pasar por conducto en una unidad de tiempo.



Figura 2.13 Relación flujo másico y área de la sección transversal

Fuente: (Cengel, 2010)

Por lo general el flujo volumétrico no permanece constante, cosa contraria pasa con el flujo másico, que si permanece constante, esto es en el tiempo estacionario, en este tiempo, el fundamento de una transferencia de masa hacia el interior del volumen de control debe de obedecer a la velocidad del flujo de masa que fuera de él, en otras palabras, el flujo de masa de entrada, es el mismo flujo de masa a la salida

2.9.6 ENERGÍA INTERNA

La energía potencial es más usada en el ámbito mecánico, el de análisis de fuerza, debido a que, un concepto de esta energía dice que es | la cantidad de trabajo que se necesita para poder levantar a una altura deseada una cierta masa, siendo las variables medibles.

Ecuación 2.11 Energía potencial

$$EP = mgh$$

Fuente (Cengel, 2010)

La energía cinética no está lejos de un análisis similar, y se la define como un trabajo necesario para poder acelerar una cierta cantidad de masa a partir de su estado en reposo, hasta una velocidad fuera de este estado.

La energía cinética (EC) es otro tipo de energía de la que se tiene un conocimiento razonable. Se define como el trabajo requerido para acelerar una masa constante a partir del reposo hasta una velocidad v . La energía cinética por unidad de masa (EC) puede expresarse como:

Ecuación 2.12 Energía cinética

$$EC = \frac{1}{2}mV_f^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

Fuente (Friddman, 2009)

Ambas energías, sea este cinética o potencial, necesitan de un trabajo que se realice para que al material o masa pueda llegar a alcanzar la velocidad esperada o su altura deseada. Para poder generar cambios en un sistema, es necesario el aplicar un trabajo, que permita que la energía potencial y cinética no sean constantes, aparte de estas se debe de identificar una energía distinta a las mencionadas, que de cierta manera tenga relación con la temperatura y presión del sistema tratado, a esta se la llama *Energía Interna*

Gracias al físico Joule, quien fue el que realizo experimentos en el siglo XIX se logró dar con tal energía, que es la que permite fusionar el resto de energías encontradas en un sistema, y la manera en que dio con tal hallazgo fue el de aislar una cantidad de agua en un tanque y efectuar un trabajo sobre este, imaginemos el sumergir una paleta en el agua, a la cual se la hace girar mediante unas poleas que son accionadas por un peso, el trabajo realizado por el peso que permitía girar las poleas era fácil, pero se producía una leve alza de temperatura en el agua al momento que la paleta giraba, esta alza de temperatura en el agua es a la que denomino como energía interna.

Otros ejemplos realizados:

- Se efectuaba trabajo mecánico para comprimir un gas en un cilindro sumergido en un recipiente bien aislado, conteniendo agua.
- Se efectuaba trabajo mecánico sobre dos piezas de hierro que se frotaba entre sí, debajo de la superficie del agua.
- Se generaba una corriente eléctrica mediante trabajo mecánico y se sumergía en agua una bobina que conducía la corriente.

En términos de termodinámica, tal sistema se denomina adiabático, y se puede hacer el siguiente enunciado, basándose en los primeros experimentos que han sido verificados desde entonces frecuentemente:

El cambio de un cuerpo dentro de un ambiente adiabático a partir de un de un estado inicial determinado para llegar a un estado final, también determinado, comprende la misma cantidad de trabajo cualesquiera que sean los medios de desarrollo del proceso.

Ecuación 2.13. Energía interna

$$w = -[U_B - U_A]$$

Fuente (Sharma, 2004)

U es la energía interna, el subíndice A indica el estado inicial y B el estado final. Por convención w es el trabajo efectuado por el sistema. Si el sistema efectúa el trabajo, entonces U final es menor que U inicial y w es positivo (Para las unidades una caloría es igual a 4.184 joules).

A partir de los experimentos iniciales se sabe que el trabajo es una forma de transferencia de energía. Pero la experiencia indica que también se puede elevar la temperatura de un cuerpo si se pone dicho cuerpo en contacto con otro de mayor temperatura. Por lo tanto, deberá postularse otra forma de transferencia de energía diferente a la del trabajo, que se denomina calor y se presenta por el símbolo **q**. (El tipo negrita es para distinguir el símbolo de calor del de velocidad de flujo volumétrico). Si se efectúa un experimento planeado, y se considera un proceso intermitente donde un cuerpo absorbe calor y efectúa trabajo, entonces, el cambio de energía interna puede expresarse según se indica:

Ecuación 2.14 Cambio de la energía interna

$$U_B - U_A = q - w$$

Fuente (Sharma, 2004)

Esta ecuación es la representación simbólica de la *primera ley de la termodinámica* y establece el cambio de la energía interna, U, de un sistema intermitente es la suma algebraica del calor y de los efectos del trabajo (“En cualquier proceso termodinámico, un sistema es igual a la suma del equivalente térmico del trabajo realizado por el sistema y el cambio de la energía interna del mismo”). El sistema intermitente deberá estar

perfectamente aislado, de tal manera que no haya transferencia de calor hacia fuera del sistema, ni desde afuera hacia él.

Ley de la conservación de la energía calorífica: “Cuando se unen dos cuerpos o más con diferentes temperaturas hay entre ellos un intercambio de energía en forma de calor hasta que llega a una temperatura de equilibrio. El calor total cedido por los cuerpos es igual al calor total absorbido por los otros.”

2.10 TRANSMISIÓN DE CALOR

De acuerdo con lo descrito con anterioridad, se puede describir al calor como una forma de energía que es transferible de un sistema hacia otro sistema, pero ahora el estudio se enfocará a la ciencia que hace estudio a la transferencia de energía, y esta es denominada transferencia de calor, esta se orienta más hacia el tiempo de transferencia de energía, y no solo a la cantidad de energía medida (calor)

2.10.1 IMPORTANCIA

El hablar de un equilibrio térmico, es referente a la termodinámica, pero cuando se trata de uno no equilibrio, se habla de la transferencia de calor, es decir esta ciencia trata de la falta de equilibrio de un estado, para poder alcanzar otro.

La razón para que haya una transferencia de energía de un sistema a otro, es la diferencia de temperatura, ya que si están ambos medios en la misma temperatura existiendo entre ellos un equilibrio térmico, como si se hiciera relación a la corriente eléctrica, la diferencia de tensión es que provoque que haya un impulso de energía eléctrica, así mismo la diferencia de temperaturas provoca una transferencia de calor.

Existen tres modos diferentes para poder transferir calor, lo común entre ellos es que, si no existiese una diferencia de temperatura, no podrá existir una transferencia, justamente como se habló con anterioridad, este se va a transmitir de aquel que tenga la temperatura más elevada hacia el otro.

2.10.2 CONDUCCIÓN.

Debido a una diferencia de temperatura, se produce un flujo de calor a través de un sistema, esto permite haya interacción molecular directa en la transmisión de energía, como resultado de la interacción entre estas partículas, las partículas se desplazan con una mayor rapidez en la parte que está más elevada su temperatura, generando así impactos en las que están dentro de la de menor temperatura, aumentando en las partículas continuas, provocando que el calor pueda fluir de las partes más calientes hacia las más frías, por así decirlo, la figura 2.14 muestra la circulación y conducción de temperatura a través de una pared plana.

La conductividad térmica (k) juega un papel fundamental en este proceso, debido a que algunos sólidos, metales, entre otros permiten conducir con mayor facilidad el calor, varios experimentos han permitido explicar que *“la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa”* (Cengel, 2010)

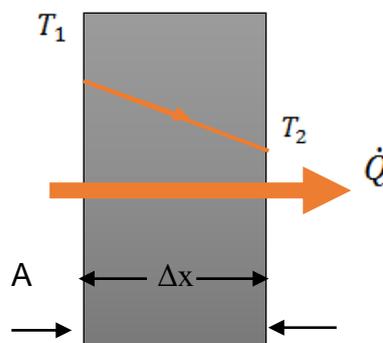


Figura 2.14 Conducción de calor a través de una pared plana

Fuente: (Friddman, 2009)

Es decir

$$\text{razón de conducción del calor } (\alpha) = \frac{(\text{Área})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

Ecuación 2.15 Razón de conducción del calor

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Fuente: (Cengel, 2010)

Donde \dot{Q}_{cond} es el calor conducido a través de una superficie y se encuentra en kcal/h, o bien, en Btu/h

A es el área de la superficie y está en m^2 o en pie^2 a través de un espesor de pared Δx en cm o en pulgada y con un diferencial de temperatura ΔT en °C o en °F.

Debido a que la temperatura va a disminuir del flujo de calor máximo hacia el flujo de calor mínimo, se considera un signo negativo, indicando que el flujo de calor se transporta al área de menor temperatura, evitando así que el resultado del calor sea negativo, ya que si va de calor a frío sería positivo. Logrando que el signo menos torne a \dot{Q}_{cond} en positivo.

La conductividad térmica se la representa con la letra k, que no es más que la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo a través de una unidad de área y por unidad de espesor.

La Ecuación 2.23 (Ley de Fourier de la conducción del calor) antes mencionada es de propiedad de J. Fourier. La cual se denominó como ley de Fourier de la conducción del calor, en donde según la distancia Δx . La cantidad $\Delta T / \Delta x$ se denomina *gradiente de temperatura* a lo largo de la trayectoria, y esta representa la pendiente de la curva de temperatura, es decir representa la razón de cambio de la temperatura con respecto a la distancia de la pared toma en cuenta, esto indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección.

Estos fundamentos descritos los dio a conocer hace más de un siglo, experimentando se llegó a la conclusión que la cantidad de calor que fluye en

el sistema es directamente proporcional a la diferencia de temperatura e inversamente proporcional a la resistencia que se aplica en el mismo sistema

Para estas transferencias también juega un papel importante el tipo de material en el cual se está ocupando en el sistema, por ello *la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura*. Se la denomina como conductividad térmica de un material, con la rapidez que se transmita el calor dependerá de su medida de conductividad, esta depende de las características internas de cada material, entre más elevado tenga este valor, significa que tiene una conductividad alta y así viceversa

Tabla 2.3 Conductividades térmicas de algunos materiales a la temperatura ambiente

Material	$k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}^*$
Diamante	2 300
Acero Inoxidable	500
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (l)	8.54
Vidrio	0.78
Ladrillo	0.72
Agua (l)	0.607
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio (g)	0.152
Caucho suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire (g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

Fuente: (Cengel, 2010)

2.10.3 DIFUSIÓN

Imaginemos que se tiene un recipiente con un fluido en su interior, la transferencia de calor por convección trata de calentar un fluido debido a su movimiento en la superficie del recipiente, transmitiendo energía entre la superficie sólida del recipiente y el fluido, el fluido que está más cercano a la superficie recibe el calor que luego se transmite a todo el fluido, mezclando así el movimiento del fluido con la conducción de calor.

Cuando el fluido está en movimiento natural, es decir no necesita de una fuerza mecánica externa, cuando este movimiento es causado por las densidades de los mismos líquidos causando un empuje natural debido al cambio de temperaturas en el fluido se la llama conducción pura o libre, en cambio cuando existe movimiento en el fluido de manera mecánica, es decir cuando se fuerza al fluido a ir por encima de la superficie mediante agentes externos, sean estos bombas, agitadores, ventiladores entre otros, se le denomina al calor transferido por convección forzada.

Entre más alta es la velocidad del movimiento del fluido mayor será la transferencia de calor por el modo de convección, Newton lo entendió y pudo expresarlo de manera matemática.

Ecuación 2.16 Ley de Newton del enfriamiento

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

Fuente: (Frank P. Incropera, David P. DeWitt, 1999)

Donde h es el *coeficiente de transferencia de calor por convección*, medido en $W/m^2 \cdot ^\circ C$ o $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$

El área superficial es A_s esta área es por donde se va a lograr dar la transferencia de calor por convección

La temperatura de la superficie se la denomina T_s

La temperatura del fluido que se encuentra más lejana de la superficie de contacto es T_{∞}

Para despejar inquietudes, el coeficiente de transferencia (h) es un parámetro experimental de cada fluido, no es una propiedad del fluido, este valor depende de las variables involucradas en la convección, por así decirlo, las propiedades del fluido, la forma geométrica de la superficie, el movimiento del fluido, y la velocidad del mismo, un ejemplo de los más usados se da a conocer en la tabla 2.4

Tabla 2.4 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	$h, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^*$
Convección libre de gases	2 - 5
Convección libre de líquidos	10 - 1000
Convección forzada de gases	25 - 250
Convección forzada de líquidos	50 - 20000
Ebullición y condensación	2500 - 100000

Fuente: (Cengel, 2010)

3 FASE DE CALCULOS

En el siguiente capítulo se procede a declarar las variables críticas en todo el sistema, enfocado desde un punto de vista matemático, determinando los parámetros que posteriormente permitirán el control automático del caldero

3.1 INTRODUCCIÓN

La realidad existente, la realidad que uno experimenta, puede ser relacionada de forma matemática, siendo esta un objeto de estudio y de comprensión, al plasmarla en una parte de este escenario empírico.

Si se aplica este concepto a este trabajo, diremos que se busca interpretar, el proceso de la hidrodestilación con ecuaciones conocidas, capaces de representar fenómenos termodinámicos y químicos.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Para poder construir el modelo, será necesario observar los datos con los que se cuenta, que otros datos se pueden obtener a partir de los que se tienen, para esto es importante conocer la maquinaria así como los procesos con los cuales se va a trabajar

3.3.1 VARIABLES A OBTENER

- Que cantidad de material herbáceo es necesario para obtener cierta cantidad de aceite
- Presión con la que se debe de golpear a las hojas; debido a que en el proceso de hidrodestilación se sabe que se cuenta con vapor para poder extraer el aceite que están en los tricomas de las hojas de eucalipto,
- Cantidad de energía necesaria para poder tener ese flujo de vapor.
- Cantidad de energía se precisa para poder cumplir con todo el proceso de hidrodestilación

3.4 INICIALIZACIÓN

Para obtener los 250 ml de aceite, el capítulo dos detalla en la tabla 2.1 el rendimiento y la densidad del aceite y hojas de eucalipto.

CARACTERÍSTICA	NOMENCLATURA	DIMENSIÓN	UNIDAD
Rendimiento	η	0,8	%
Densidad	δ	0,921	g/ml

El rendimiento que muestra la tabla es obtenido en base a 100g del material herbáceo, si este concepto es aplicado a la inversa, sabremos qué cantidad es la necesaria de hojas.

$$\begin{array}{ccc}
 100_{gHierva} & \nearrow & Z_{gAceite}(n) \\
 X_{gHierva} & \searrow & Y_{gAceite}(m)
 \end{array}$$

$$Y_{gAceite} = \frac{\eta * X_{gHierva}}{100} = \frac{0,8 * X_{gHierva}}{100}$$

$$Y_{gAceite} = 0,008X_{gHierva}$$

Ecuación 3.1 Masa

$$m = \delta * v$$

Fuente: (Friddman, 2009)

$$0,008X_{gHierva} = \frac{m}{\delta} = \frac{250}{0,921}$$

$$X_{gHierva} = \frac{0,921 * 250}{0,008}$$

$$X_{gHierva} = 28781,25 \text{ g}$$

$$X_{gHierva} = 28,781 \text{ Kg}$$

Obteniendo así los 28.78 Kg de hojas que se necesita para tener 250 ml de aceite

3.5 PRESIÓN DE EUCALIPTO (VALORPRES)

Se corre el riesgo q si hay una presión excesiva se pueda estar destilando un aceite con ligero olor a quemado, y si se hace lo contrario se estaría desperdiciando energía y dejando parte del aceite en forma de agua floral en el fondo del hidroddestilador.

Es por ello que para el conocimiento de esta presión se recurre a usar la ecuación de Antoine, la cual ayuda a encontrar la presión de una sustancia pura; para el caso específico del eucalipto, se lo denomina como Eucalyptol o Cineol.

Lo que establece Antoine en su modelo es utilizar constantes (para el caso de este escrito no se va a estudiar ni a profundizar en el tema) las cuales relacionan la presión saturada de vapor con respecto a la temperatura de la sustancia pura a tratar, dando la presión deseada en milímetros de mercurio

Ecuación 3.2 Antoine

$$\log_{10} P = A - \frac{B}{C + T}$$

Fuente: (HOUGEN, 1947)

Teniendo en cuenta que A, B y C son constantes dadas, T es la temperatura de ebullición de la sustancia dada en gados Celsius, o a su vez de la sustancia pura que hará evaporar.

Como se trabajar en Psi, será necesario tener su equivalencia en milímetros de mercurio, ya que la respuesta de Antoine da en esa unidad, la tabla 3.1 ayuda en ese cálculo

Tabla 3.1 Equivalencia mmHg a Psi

Equivalencias	mmHg	Psi
	1	0,019336721

Fuente: (Cengel, 2010)

Teniendo en cuenta esto, se continuara a obtener los valores para el agua, donde esta sustancia pura es la responsable de golpear con su vapor y hacer salir la esencia pura del eucalipto

Tabla 3.2 Antoine para el agua

Constante	Valor
A =	8,07131
B =	1730,63
C =	233,426
T =	100

Fuente: (HOUGEN, 1947)

Aplicando Antoine para la sustancia Pura del Agua

$$\log_{10} P = 2,880862944$$

Pagua =	760,0863692	mmHg
Pagua =	14,69757826	Psi

Constantes de Antoine para la sustancia pura de Eucalyptol

Tabla 3.3 Constantes de Antoine para el eucalyptol

Constante	Valor
A =	6,6948
B =	1295,59
C =	282,51
T =	100

Fuente: (HOUGEN, 1947)

Resolviendo por Antoine para la sustancia pura de eucalyptol:

$$\log_{10} P = 3,30772515$$

Peucalyptol =	2031,07122	mmHg
Peucalyptol =	39,2742581	Psi

Tabla 3.4 Resumen Antoine para Agua y Eucalipto

Sustancia	A	B	C	T ebullición	Presión (Psi)
Agua (1)	8,07131	1730,63	233,426	100	14,6975783
Eucalyptol (2)	6,6948	1295,59	282,51		39,2742581

Con la Ecuación 3.2 se puede generar datos que servirán para poder obtener una curva de presión con respecto a la temperatura, la cual será de vital importancia, ya que con esta se sabrá la presión a controlar para que el aceite no obtenga el ligero olor a quemado, para ello en la tabla 3.5 se observa la presión a distinta temperatura, esta con relación a la del agua.

Tabla 3.5 Presiones a distintas temperaturas con Antoine

Temperatura C	Pva Agua (psi)	Pva Eucalyptol (psi)
20	0,337875405	4,993238018
23	0,40611612	5,500951973
26	0,486066957	6,048887784
29	0,579372076	6,639248477
32	0,687852179	7,274292614
35	0,813516886	7,956332617
38	0,958577364	8,687732996
41	1,125459153	9,470908494
44	1,31681517	10,30832215
47	1,535538824	11,2024833
50	1,784777209	12,15594548
53	2,067944328	13,17130435
56	2,388734303	14,25119544
59	2,751134526	15,39829198
62	3,159438697	16,61530263
65	3,618259719	17,90496914
68	4,132542393	19,27006411
71	4,707575878	20,71338855
74	5,349005868	22,23776962

77	6,062846448	23,84605821
80	6,855491598	25,54112657
83	7,733726291	27,32586601
86	8,704737164	29,20318446
89	9,776122729	31,17600419
92	10,95590308	33,24725945
95	12,2525291	35,41989417
98	13,67489106	37,69685967
99	14,17855393	38,47954368
100	14,69757826	39,27425806

Si se observa la tabla 3.5 la temperatura inicial es de 20°C, esta se debe a la temperatura ambiente con la que ingresa el agua al hidroddestilador, en otras ciudades puede variar, siendo mucho menor y en algunos casos puede ser mayor.

El punto de ebullición del agua se tiene de 100°C, la cual sirve de referencia

En relación a las presiones, se analiza la sustancia de Eucalyptol a los 20°C, notamos que ya se genera 5 psi aproximadamente, y hay que aclarar que este modelo es ideal, es decir se asume que a esa temperatura se obtendrá dicha presión, en el caso del hidroddestilador esta presión es a la que el agua entra al caldero, por ello, en el hidroddestilador no habrá calor alguno que genere dicha presión.

Eso no significa que no se debe de prestar la atención requerida al sistema, todo lo contrario, conforme vaya incrementando la temperatura del agua, ira incrementado la presión latente en el interior del hidroddestilador, la cual es la variable propuesta a ser controlada.

Con estas presiones generadas, se formar la curva característica, las que se muestran en la Figura 3.1

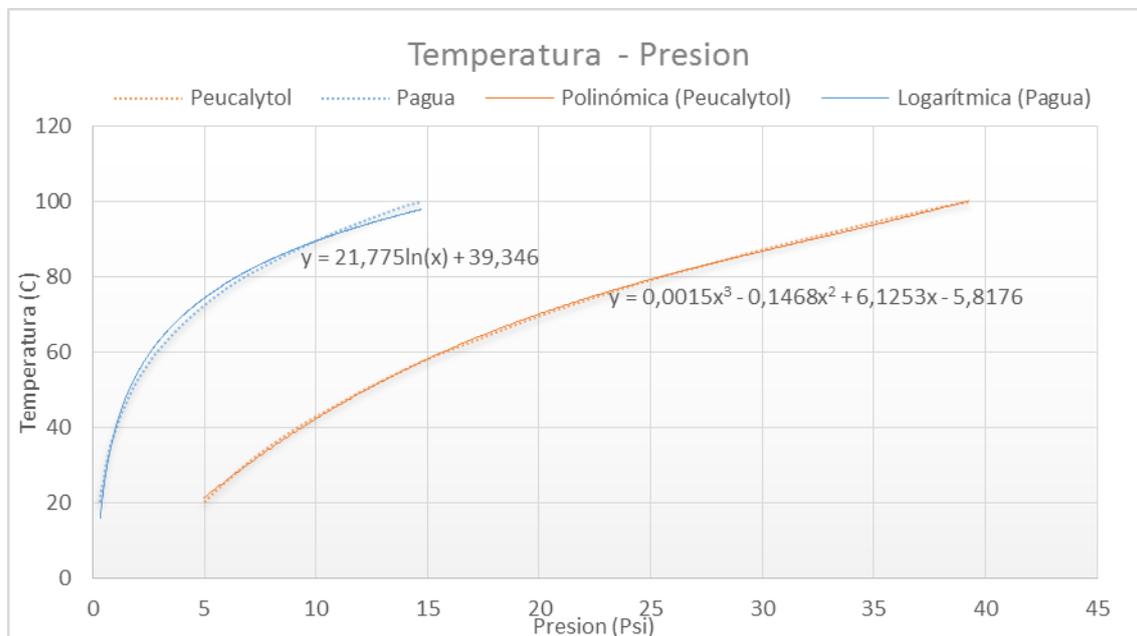


Figura 3.1 Temperatura - Presión sustancias puras

Analizando la gráfica se observa de una mejor manera lo que se comentó en la tabla anterior, y es que para tener una presión de 5 psi en la sustancia de Eucalyptol será necesario que se encuentre a 20°C, con la sustancia que se está trabajando es con el vapor de agua, así que será preciso que exista esta para poder empezar a contemplar la presión que se está ejerciendo sobre las hojas de eucalipto, para ello, cuando se llegue a ese punto se tendrá una ecuación característica para cada sustancia, siendo para el agua una curva de aproximación de ($y = 21,775\ln(x) + 39,346$) y para el Eucalyptol ($y = 0,0015x^3 - 0,1468x^2 + 6,1253x - 5,8176$), siendo la que más interesa para objeto de cálculo la del Eucalyptol.

3.6 BALANCES

En el capítulo dos se detalló lo referido a los balances, tanto el de materia, como el balance de energía, para lo cual antes de proceder a sus respectivos cálculos es necesario, tener en cuenta ciertos aspectos y datos de orden

químico que afectan a cada sustancia, puesto que serán tratados como sustancias puras.

3.6.1 FRACCIÓN MOLAR

La fracción Molar (X_n) se destaca por ser una unidad de concentración, es una relación entre un soluto y un solvente, para entender de una mejor manera estos dos nuevos términos se hará una analogía, diciendo que el solvente es quien contiene al soluto, es decir existe en mayor proporción un solvente que un soluto, donde se tienen ciertas partes de ambos al inicio pero que se desea tener un elemento más concentrado (soluto) al final del proceso.

Estos términos son utilizados en cálculo de evaporadores, mezcladores, y calderas, pero al ser un hidrodestilador se lo analiza como una mezcla entre estos tres procesos.

Ecuación 3.3 Fracción molar

$$X_n = \frac{mol_n}{mol_T}$$

Fuente: (Química, s.f.)

Donde:

X_n : Fracción Molar

El término referido a mol significa Moles

n: componentes

T: Totales

Para poder realizar el cálculo de las fracciones molares se necesitaran datos que se procede a realizar.

Se conoce que en el Hidrodestilador la cantidad de Agua necesaria para poder destilar 250 ml de aceite es necesario 20 Litros de agua, pero para el caso de las fracciones molares se necesita saber su peso y más no la cantidad de agua en litros que puede requerir el sistema.

Entonces:

Agua	Contenido de agua
1ml = 1g	20 L = 20000 g

Esta conversión servirá para poder contar con el peso y no su volumen en litros de agua

La composición química del Eucalyptol viene dada por $C_{10}H_{18}O$ y es necesario saber este dato ya que se desea obtener el peso molecular de cada sustancia pura, para posteriormente obtener la fracción molecular.

Tabla 3.6 Pesos de sustancias puras

Materia	Sustancia	peso i (g)	peso f (g)	residuo
Eucalipto	C ₁₀ H ₁₈ O	28781,25	28781,25	7195,3125
Agua	H ₂ O	20000	5000	15000

“i” es referencia a inicial.

“f” es referencia a final.

Teniendo el compuesto químico de cada sustancia, se procede a descomponer átomo por átomo, la tabla 3.7 ayuda a comprender mejor

Tabla 3.7 Composición de sustancias y peso molecular

Peso Molecular	Átomo	# átomos	Peso atómico	Peso Molecular
Eucalyptol	C	10	12	120
	H	18	1	18
	O	1	16	16
Agua	H	2	1	2
	O	1	16	16

Fuente: (M, 2014)

Para obtener el peso molecular no fue más que multiplicar el número de átomos por su peso atómico, en la tabla 3.8 se encuentran las moles resultantes.

Tabla 3.8 Moles de sustancias puras

Peso total (g)	Moles (mol)	Fracción Molar i	Moles final (mol)	Fracción molar final	residuo	Cp (J/kg°C)
154	186,8912338	0,143983741	186,8912338	0,402202921	46,7228084	1950
18	1111,1111111	0,856016259	277,7777778	0,597797079	833,333333	41186
Total fracción molar =		1		1		

En la Tabla 3.7 la fracción Molar inicial hace énfasis a la cantidad de cada componente que existe al inicio del proceso, lo mismo pasa con fracción molar final, la diferencia es que en este caso existe una condensación de agua dentro del hidroddestilador y un residuo florar del aceite mesclado en el agua decantada en el interior del hidroddestilador, por pruebas experimentales se sabe que destila un aproximado de cinco litros de agua en todo el proceso, por lo que es necesario llenar el florentino con suficiente agua para que se pueda separar de una manera adecuada el aceite obtenido por la hidroddestilación, para tener un balance adecuado, la sumatoria siempre tiene que dar uno.

3.6.2 BALANCE DE MATERIA

Cuando se trata de un sistema ideal significa que toda la masa que entra sale, pero la realidad no es esa, ya que hay destilación interna, lo que permite que gran parte del vapor salga del sistema, pero la otra se condense dentro del caldero, por múltiples aspectos, por el intercambio de calor con el exterior, por radiación convección, etc. Permitiéndole a este sudar por las paredes del caldero, por lo que la ecuación 3.5 muestra el modelo a seguir

Ecuación 3.4 Balance de materia general

$$M^I = M^F + M^V + M^r$$

Fuente: (Cengel, 2010)

Donde M^r será la masa que se quede en el interior del caldero

M^I Masa que entra

M^F Masa final

M^V Masa que sale como vapor

Se sabe que la capacidad del Hidrodestilador es de 1000L ya que se obtuvo a partir de cálculos, con este dato se obtiene la masa inicial, la ecuación 3.4 dicta con que cantidad se puede contar al inicio del proceso, siendo esta la suma de ambas sustancias, tanto de agua como de eucalyptol.

Ecuación 3.5 Masa inicial en hidrodestilador

$$M^i = C_{to} \left(\frac{1000 \text{cm}^3}{1L} \right) \left(\frac{\delta g}{1 \text{cm}^3} \right) \left(\frac{1kg}{1000g} \right)$$

Fuente: (Cengel, 2010)

Donde C_{to} no es más que la cantidad que puede almacenar el hidrodestilador en litros.

Ocupando la Ecuación 3.5 y remplazando con los datos que se tiene:

$$M^i = 1000L \left(\frac{1000 \text{cm}^3}{1L} \right) \left(\frac{0,921 g}{1 \text{cm}^3} \right) \left(\frac{1kg}{1000g} \right) = 921 kg$$

Obteniendo así una masa inicial de $M^i=921$ Kg.

Hará falta sacar cualquier otra componente para poder completar el balance, para ello se ocupara el balance por componentes, siendo las dos sustancias puras los componentes a analizar.

Ecuación 3.6 Balance de masa por componente para el eucalyptol

$$M^F m_s^F = M^I m_s^I$$

Fuente: (Cengel, 2010)

Ecuación 3.7 Balance de masa por componente para el agua

$$M^I m_{H_2O}^I = M^F m_{H_2O}^F + M^V m_{H_2O}^V$$

Fuente: (Cengel, 2010)

Siendo:

$m_{H_2O}^I = \text{Fracción molar de agua al inicio del proceso}$

$m_{H_2O}^F = \text{Fracción Molar del agua al final del proceso}$

$m_{H_2O}^V = \text{Fracción Molar de agua que se ha evaporado}$

Teniendo las ecuaciones y conociendo los datos como fracciones molares se puede empezar a remplazar datos

Para el cálculo de estabilidad al inicio de la hidrodestilación se despeja de la Ecuación 3.7

$$M^I = \frac{M^f * m_s^F}{m_s^I}$$

$$M^I = 921 \text{ Kg}$$

Se obtiene la tabla 3.9 con los resultados parciales del proceso

Tabla 3.9 Composición inicial del proceso

Sustancia Inicial	Nomenclatura	Cantidad
Masa	M^I	921
Fracción molar del eucalyptol	m_s^I	0,14398374
Fracción molar del agua	$m_{H_2O}^I$	0,85601626

Para saber la cantidad que se usa en la evaporación se aplica esta fórmula, asumiendo que se trabaja con parte del vapor que entra, ya que una porción se queda en el caldero en forma de agua floral, puesto que en la ecuación se ocupa m_s^F que es la masa final del soluto (Eucalyptol) que está obteniéndose como vapor.

Ecuación 3.8 Masa final de vapor con agua floral en caldero

$$M^V = \frac{M^I - \left(\frac{M^I * m_s^I}{m_s^F} \right)}{\left(1 - \frac{m_s^V}{m_s^F} \right)}$$

Fuente: (Zemansky, 1985)

Tabla 3.10 Composición evaporada en el proceso

Sustancia Evaporada	Nomenclatura	Cantidad
Masa	M^V	907,006923
Fración molar del eucalyptol	m_s^V	0,14
Fración molar del agua	$m_{H_2O}^V$	0,86

La masa que queda de todo el proceso se puede obtener despejando de la Ecuación 3.8 teniendo en cuenta que aún es necesario encontrar la cantidad de sustancias que se quedarán y se perderán en el caldero

$$M^V = \frac{M^I m_{H_2O}^I - M^F m_{H_2O}^F}{m_{H_2O}^F}$$

Si se sustituye por los datos ya conocidos y se inserta una tabla para su mejor comprensión se tendría que:

Tabla 3.11 Contenido a la salida del proceso

Contenido A la Salida	Nomenclatura	Cantidad
Masa	M^F	9.72676816
Fración molar del eucalyptol	m_s^F	0,40220292
Fración molar del agua	$m_{H_2O}^F$	0,59779708

Para terminar este balance se analiza un despeje de la Ecuación 3.5

$$M^r = M^I - M^V - M^F$$

$$M^r = 921 - 907006923 - 9.72676816$$

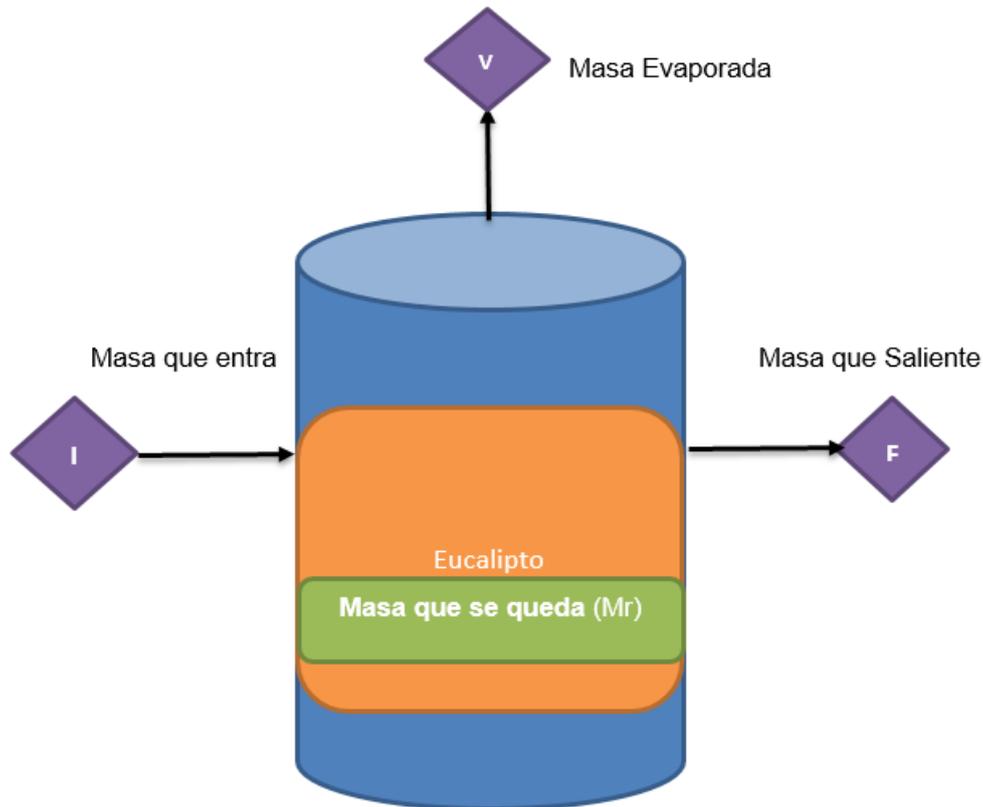


Figura 3.2 Balance de masa

3.6.3 BALANCE DE ENERGIA

Uno de los principios que rigen en los balances de energía es el principio de conservación de materia y energía, en este caso particular la energía no se va a destruir, se transforma para realizar un trabajo, particularmente se habla de un cambio de estado, de líquido a vapor, se aprovecha esa energía interna que tiene este cambio, para provocar sudor en las hojas y condensarlo, pero cuanta energía será necesaria para esto, a continuación se presenta el balance de energía, tomando en cuenta la maquina como un caldero.

Ecuación 3.9 Ecuación general de energía

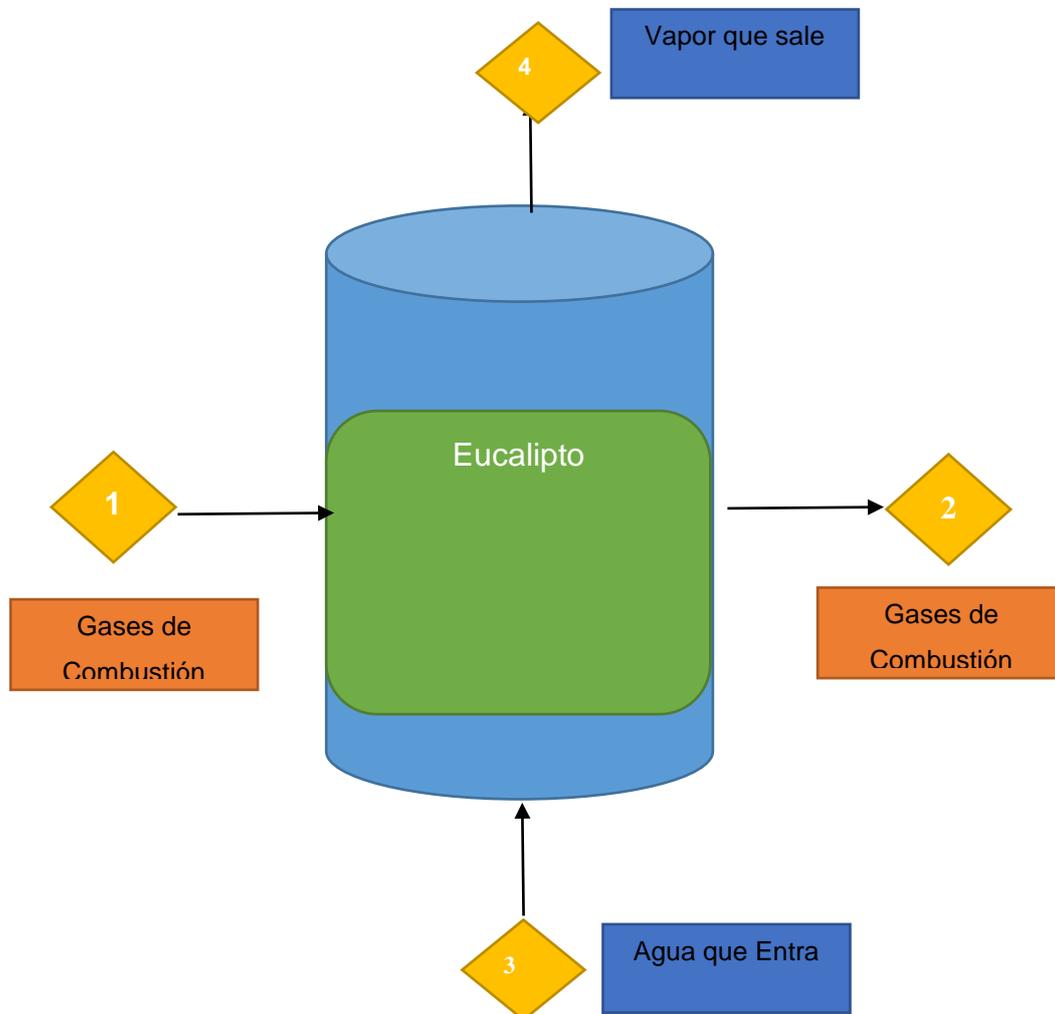
$$m_1H_1 + m_3H_3 + Q = m_2H_2 + m_4H_4$$

Fuente: (Zemansky, 1985)

Donde la letra **m** serán flujos y **H** serán las entalpias correspondientes a cada uno.

La Figura 3.3 muestra un balance de energía, siendo lo que entra igual a lo que sale, en el caso cuando se refiere al proceso 1 y al proceso 2, se trata de los gases de combustión que entran y salen respectivamente.

Figura 3.3 Balance general de energía



Por ello la masa que entra (m_1) será igual a la masa que sale (m_2) dicho de otra forma se tiene que:

$$m_1 = m_2 = m$$

Ya que, el combustible que entra será el combustible que salga, se puede modificar y despejar de la Ecuación 3.10 la masa que dará como respuesta la cantidad de kilogramos de combustible necesarios para todo el proceso

Ecuación 3.10 Masa necesaria de combustible

$$m = \frac{m_4 H_4 - m_3 H_3 - Q}{H_1 - H_2}$$

Fuente: (Cengel, 2010)

Al ejecutarle como un caldero, y para este caso en particular, se sabe que el combustible responsable de producir la llama es el LGP (Gas Licuado de Petróleo), este tiene establecidos parámetros y condiciones que dependen de variables ya establecidas, una de ellas será la temperatura de la llama, midiendo con una termocupla se obtuvo la temperatura de llama, siendo medida en grados centígrados ($T = ^\circ\text{C}$)

Tabla 3.12 Gases de combustión iniciales

T inicial 1200

Componente	fracción molar	Cp. (cal/mol)
N_2	0,766	7,5
CO_2	0,04	11,94
H_2O	0,06	9,2
O_2	0,134	7,94
C_p promedio	7,83856	cal/mol $^\circ\text{C}$

Fuente: (HOUGEN, 1947)

La capacidad calorífica (Cp) promedio, se obtuvo de la sumatoria del producto entre la fracción molar y su respectivo capacidad calorífica.

Se necesita saber la entalpia para ese momento, para lo cual la Ecuación 3.12 sirve de ayuda.

Ecuación 3.11 Entalpia

$$H \int_{T_b}^{T_1} C_p dT$$

Fuente: (Cengel, 2010)

Donde **H** es la Entalpia:

Cp. es la capacidad calorífica

Tb es la temperatura ambiente

T1 Es la Temperatura que se tiene de referencia

Utilizando la Ecuación 3.12 y el **Cp.** calculado y puesto en la tabla 3.12 tendremos para la Entalpia 1 lo siguiente:

$$H1 = \int_{18}^{1000} 7,8 dT$$

$$H1 = 9265,17792 \frac{cal}{g mol}$$

Así mismo al saber que el combustible que entra es igual al combustible que se agota, la tabla 3.4 ayuda agrupando estos valores, el de los gases en la combustión final:

Figura 3.4 Gases de combustión finales

T final 400

Componente	fracción molar	Cp. (cal/mol)
N_2	0,766	7,09
CO_2	0,04	10,48
H_2O	0,06	8,35
O_2	0,134	7,4
C_p promedio	7,34274	cal/mol°C

Fuente: (HOUGEN, 1947)

El Cp. promedio se obtuvo de la sumatoria del producto entre la fracción molar y su respectivo **Cp.** y utilizando la Ecuación 3.12 y el **Cp.** calculado y puesto en la tabla 3.12 se tiene para la Entalpia 2 lo siguiente:

$$H2 = \int_{18}^{1000} 7,3 dT$$

Con estos datos se ha obtenido la entalpia en H1 y H2, lo cual permite resolver por completo el balance.

Si con los datos obtenidos se reemplaza en la Ecuación 3.12 se obtiene

Tabla 3.13 Agua de entrada

Componente	Cantidad	Unidad
M3	12,5	Kg/h
T	20	°C
H3	84	kJ/kg

Fuente: (HOUGEN, 1947)

La entalpia H3 es obtenida a partir de tablas (HOUGEN, 1947), contando con la temperatura ambiente del agua que es de 20°C se realizan las comparaciones con los datos de tablas, para ello la tabla 3.4 proporciona la siguiente información.

Tabla 3.14 Vapor de salida

Componente	Cantidad	Unidad
M4 (kg/h)	20	Kg/h
T (°C)	100	°C
H4 (cal/kg)	419,17	kJ/kg
	100,117034	cal/g
	100117,034	cal/kg

Fuente: (HOUGEN, 1947)

Con lo que se ocupará netamente la Ecuación 3.12, y obtener de ahí la masa necesaria para destilar todo el proceso

$$M2 \text{ (kg/h)} = 1761,09384 \text{ cal/g mol}^\circ\text{C}$$

Interpretando que para poder producir el suficiente vapor para destilar la cantidad de aceite que se encuentra en la masa de hojas será de un total de 1.761 Kg por hora, siendo un aproximado de 4, 40 Kg de combustible por obtención de los 250 mililitros de aceite, debido que por experiencia se sabe que el proceso tarda unas dos horas con treinta minutos.

Así mismo se puede sacar características propias del Hidrodestilador, en la tabla 3.15 podemos apreciar algunas de ellas, las cuales servirán para cálculos

Tabla 3.15 Características y dimensiones del hidroddestilador**PARAMETROS DEL HIDRODESTILADOR**

Características	Medida	Unidad
Espesor del Acero	2	mm
Altura	1,74	m
Diámetro	60	cm
Ancho	1,88496	m
Peso	53	kg
Área	3,8453184	m ²

4 DISEÑO Y CONTROL

Una vez analizado y definido cada una de las variables que intervienen en el proceso de hidrodestilación, un esquema de diseño de fácil entendimiento se presenta a continuación, mostrando paso a paso la lógica implementada.

4.1 INTRODUCCIÓN

Se puede definir como un control de caldera, al conjunto de herramientas y elementos que tienen como fin el manejar los balances de energía y masa, ante la demanda necesaria, pero es más complejo de lo que aparenta a simple vista, debido que, para llegar a este punto se debe de tener control a cada instante de cada proceso y suceso, como el tiempo de arranque, chequeo constante de la seguridad, funcionamiento de sus componentes tanto electrónicos como mecánicos, estos permiten que la energía y masa que se está convirtiendo, almacenando o expulsando, lleguen a las condiciones que se desea, a nivel industrial uno puede ver esquemas e incluso modelos a seguir, como se vio en el capítulo dos, no existen solo un tipo de calderas, es por ello, que las variables a controlar pueden variar de modelo a modelo, un esquema general se presente en la Figura 4.1

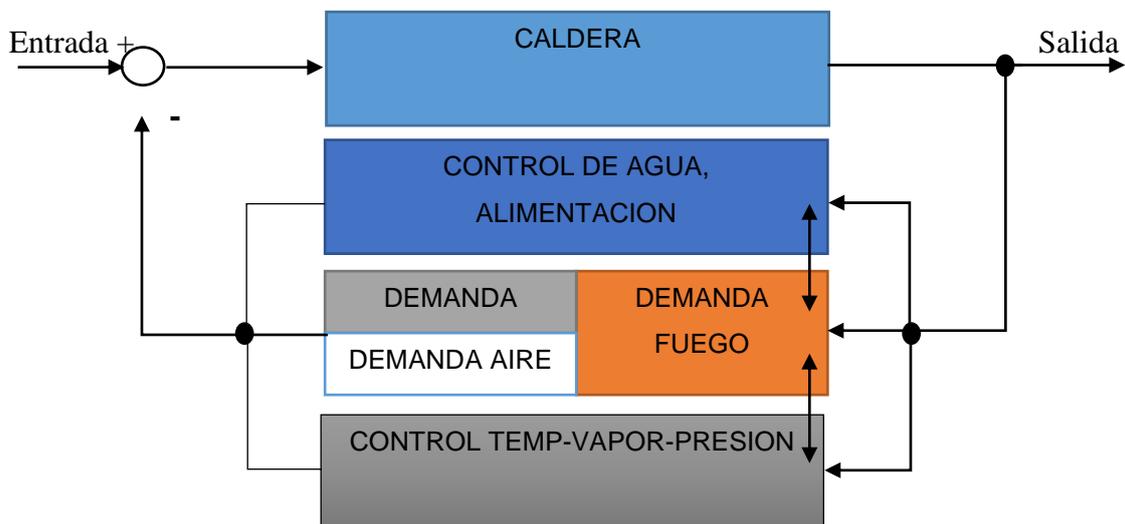


Figura 4.1 Esquema Ideal del control de caldera industrial en extracción de aceites

Los equilibrios de masa y energía en el control de la caldera, son los que permiten controlar los parámetros necesarios e importantes para poder llegar a las condiciones deseadas, el controlar la demanda de fuego implica a su vez

manipular la demanda de combustible y de aire, debido a que sin fuego no habría una vaporización del agua, si se tiene demasiado aporte energético en este, surgirá una presión elevada que puede generar olores a quemado en el producto final, y al mismo tiempo produciría una evaporación rápida del líquido, por lo cual sin llama no existiría un líquido que llegue a ebullición y golpee a las hojas, necesarias para extraer su aceite, a modo de resumen se puede decir que se necesita un control continuo de la demanda de combustible, de la temperatura, presión, vapor, y consumo de agua, para poder tener un control general del caldero.

Es decir cada una de estas variables influye en las otras, cada variable constituye un subsistema, y cada variable tiene interacción en respecto a los sistemas adyacentes, la demanda de combustible, influye sobre la temperatura y vapor, de acuerdo a la cantidad de agua y a su propio caudal, este afectara a la presión del vapor, y a su vez influye en la demanda de combustible o de carga, e decir son dependientes una de la otra.

Para llegar a este punto (aparenta simpleza), es de vital importancia comprender qué sucede en cada subsistema, y de una manera adecuada proporcionar el control en cada uno de ellos, para esta existen objetivos de control que toda caldera demanda.

- Proporcionar un suministro continuo de vapor controlando la presión deseada.
- Controlar las paradas y arranques de la caldera
- Operar de manera cautelosa cada elemento de la caldera, manteniendo una seguridad elevada antes, durante y después de las operaciones.

Considerando lo anterior, tardará un tiempo en que cada subsistema genere un cambio en sí mismo, dicho de otra manera, el control que se debe de tener en cada subsistema demanda de un tiempo propio por separado, con esto presente, se puede tener una apreciación de cambio en cada variable involucrada.

- El caudal puede variar de segundos a minutos
- El aumento de presión se notaría en minutos

- El cambio de temperatura rondaría los minutos
- La caída de presión se apreciaría en segundos

4.2 SISTEMA DE SEGURIDAD VS SISTEMA DE CONTROL

Por más que pueden parecer sinónimos ambas palabras, seguridad y control, en ingeniería, no tienen significados iguales, se hace énfasis a ellos como sistemas por separado, se puede ahorrar tiempo y dinero al intentar juntarlos, pero bajo qué circunstancias se estaría haciendo, el poder juntarlas harían que se reduzca el costo de mantenimiento de equipo, se podría tener una sola fuente de alimentación para ambos y se podría aprovechar el personal en otras actividades, sin embargo los especialistas en este campo, así como los estándares y normas internacionales, no lo recomiendan.

En el caso de una caldera, de repente se necesita una mayor atención en la presión, debido a que esta puede caer o subir en cuestión de segundos, obligando al sistema de control a abrir las válvulas de seguridad, y al corte de combustible, y otras variables que podrían presentarse, ¿Qué sucedería si por tal demanda el sistema de control tiene una falla, un colapso o se congela?

Es por ello que una falla de este tipo no debe permitir un colapso en la seguridad de la caldera, una manera fácil de entender se muestra en la figura 4.2



Figura 4.2 Flujo grama de demanda de seguridad

Las fallas por cuestiones eléctricas muchas de las veces pueden ser desapercibidas e imprevistas, si llegara a pasar una es posible que ni el operador observe tal fallo, hasta ver que en la caldera surge un imprevisto, si se manda a cerrar electrónicamente válvulas o cualquier otro subsistema, y se encuentran en el caso de que se está cortocircuitado o sufriendo una desenergización, va a ser imposible que se la ejecute esa orden, es debido a estos inconvenientes que se recomienda tener el sistema de seguridad a parte del sistema de control.

Algunos fallo de seguridad en los sistemas electrónicos enfocados en las normas de seguridad electrónica (E / E / PE, o E / E / PES) se muestran a continuación en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Tipos de fallo de seguridad

Tipo de fallo	Recomendación
Peligroso no detectado	Es el peor, se evita con las pruebas periódicas o mejorando los autodiagnósticos
Peligroso detectado	Debe actuarse rápidamente
Modo degradado por fallo parcial del sistema redundante	Es el mejor, la redundancia aumenta el costo de inversión pero reduce el costo total del ciclo de vida
Disparo falso	Debe mejorarse el MTBF (tiempo entre fallos de un sistema) del sistema, puede inducir al abuso de los bypass

Fuente: (IEC-61508)

Ningún equipo electrónico es perfecto, para lo cual la IEC-61508 ha catalogado una escala de seguridad, basándose en el Nivel de Integridad Segura por sus siglas en ingles SIL.

De acuerdo a esto se ha podido dar una mejor definición al campo de control, la tabla 4.2 permite comparar los distintos métodos, teniendo sus principales diferencias.

Tabla 4.2 Sistema de control vs Sistema de seguridad

SISTEMA DE CONTROL	SISTEMA DE SEGURIDAD
Activo/Dinámico	Pasivo/Estático
La mayoría de los fallos son detectados	Muchos Fallos no son detectados
Los autodiagnósticos no son necesarios	Los autodiagnósticos son indispensables
Debe permitir los cambios frecuentes	Los cambios deben minimizarse

Fuente: (Mexico)

En la Tabla 4.2 se encuentran diferencias esenciales entre un sistema de control en relación a un sistema de seguridad, es por ello que al ser un sistema de control, los fallos son un más deducibles, por no decirlos fáciles de detectar, ya que en este sistema se cuenta con el autodiagnóstico, con sistemas que tienen retroalimentación, y estos nos indican fallas en caso de que las hayan, pero es un poco complejo el caso del sistema de seguridad, ya que pueden haber fallas que pasan ocultas por mucho tiempo y que no son perceptibles a simple vista, por lo que se necesita dar comprobación manual y periódica.

4.3 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

En la actualidad, al momento de seleccionar el tipo de tecnología que va a acompañar en todo el proceso, es necesario tener en cuenta los riesgos y beneficios que uno espera tener, hoy en día se encuentra tecnología tipo neumática, basada en microprocesadores, temporizadores, relé, en fin una gran variedad a tomar en cuenta, no solo se habla de diferencia económica entre cada una de ellas, sino también del uso, que se le vaya a dar, tener en cuenta el peso, su tamaño, que tipo de mantenimiento requerirá, y cada cuanto tiempo se lo dará, que tipo de comunicación usa, que tan susceptible es a las interferencias, y así muchos otros aspectos.

4.3.1 SISTEMAS NEUMÁTICOS

En cuestión a ellos, y al hablar sobre el tema de calderas, estos son más prácticos en aplicaciones que tengan como interés

- Simplicidad
- Que su seguridad se primordial
- No se desee contar con tenciones eléctricas.

4.3.2 SISTEMAS CON RELÉ

Si nuestra aplicación es sencilla y pequeña, el relé es una opción a considerar.

- No poseen comunicaciones o interfaces.
- Son sencillos y simples Son relativamente baratos
- No los altera un ruido electromagnético
- Son aptos para trabajar con varios rangos de tensiones
- Pero también puede ser su lógica un poco difícil de comprender, al momento de querer realizar un cambio

4.3.3 LOS SISTEMAS DE ESTADO SÓLIDO

- Al igual que los relés, al momento de realizar un cambio, su lógica puede ser un tanto compleja.
- No requieren de un uso específico de software.
- La gran mayoría de ellos son fabricados con aplicaciones especiales en el tema de seguridad
- Pueden tener comunicación
- Son algo costosos, y no son tan flexibles

4.3.4 SISTEMAS BASADOS EN PLC'S

Si las aplicaciones son grandes o a mediana escala, el PLC ofrece gran versatilidad

- Los cambios a efectuar son de fácil acceso y de fácil cambio

- Elevados costo
- Poseen módulos de comunicación, e incluso interfaces de tipo grafico para orientar y tener una mejor comunicación con el operador
- Una desventaja para ellos, es su autodiagnóstico, y si se lo requiere para seguridades de estándares tipo SIL 2 y SIL 3, no sería beneficioso

4.3.5 SISTEMAS MICROPROCESADOR

Gran acoplamiento a las necesidades específicas de un proyecto.

- Son de bajo costo
- Flexibilidad de acuerdo a necesidades especificas
- Bajo consumo de energía
- Espacio de trabajo reducido
- Número de entradas y salidas limitadas
- Amplia gama de selección
- Información de fácil acceso

4.3.6 SOFTWARE DEL SISTEMA

La seguridad al momento de programar, de utilizar un software, de recurrir a un diseño preestablecido debe de tener en cuenta aspectos como los siguientes:

- Sistematizando métodos (Estructurado), que no salga de estándares
- Detallado en sus comentarios, entendible y ordenado.
- Si se trabaja en sistemas que sean peligrosos y de origen complejo, es necesario contar con ayuda de simuladores para sus respectivas pruebas
- Restringir el acceso a personal o autorizado
- Si se realiza cambios, optar siempre por hacerlos personalmente, no ocupando la red para realizarlos.
- Documentar cada proceso y paso a realizar.

4.3.7 HARDWARE DEL SISTEMA

La seguridad al momento de utilizar un hardware, o de recurrir a un diseño preestablecido debe de tener en cuenta aspectos como los siguientes

- Revisar minuciosamente, teniendo en cuenta los fallos por causa simples o comunes
- Rutinas de diagnósticos por el carácter pasivo del SIS.
- Proteger al sistema de ambientes que sean corrosivos para la parte física, tener en cuenta la humedad, campos magnéticos cercanos, así como como agua, entre otras.
- Proteger de vibraciones y de la alimentación eléctrica, tener cuidado con sobre cargas y bajas de tensión
- Ocupación de Relés para trabajar con cargas máximas y mínimas.
- Generación de pruebas de campo, y mantener documentada cada una de ellas.

4.3.8 SELECCIÓN DE SISTEMA

Se seleccionó una placa electrónica basada en el micro controlador ATmega328, modelo Uno del fabricante Arduino, y se escogió debido a su amigable entorno para programar (Hardware), facilidad de adquirirla, su precio, y la cantidad de información existente, gracias a sus características que presta para este presente control. (Ver Anexo A)

Las Figuras 4.3 y 4.4 muestran la placa Arduino uno en sus vistas frontal y posterior.



Figura 4.3 Placa Arduino Uno Vista Frontal

Fuente: (Arduino, 2015)

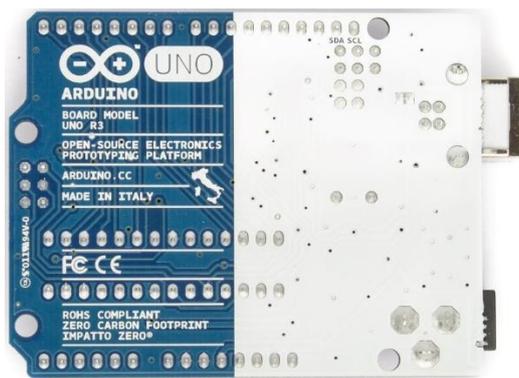


Figura 4.4 Placa Arduino Uno Vista Trasera

Fuente: (Arduino, 2015)

a) Características de Arduino Uno R3

Las características principales de la placa Arduino Uno R3 se indican en la tabla 4.3

Tabla 4.3 Características Arduino Uno R3

Característica	Dato
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje	5V
Voltaje entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje entrada (limites):	6-20V
Digital I/O Pines	14 (de los cuales 6 son salida PWM)
Entradas Analógicas	6
Corrientes por I/O Pin	40 mA
DC Corriente parar 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados para el arranque
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz
Largo	68.6 mm
Altura	53.4 mm
Peso	25 g

Fuente: (Arduino, 2015)

4.3.9 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS.

En esta sección se procede a describir de una manera breve los elementos que forma parte del diseño y del sistema de control para el hidroddestilador

b) Termocupla

También llamado termopar, este es un instrumento de medición de temperatura, basado en el efecto Seebeck, llamado así por su descubridor, donde especifica que, la unión a distinta temperatura entre dos metales produce una caída de voltaje.

Distintos metales, distinta caída de voltaje, es por ello que existen varios tipos de termopares, cada uno con sus límites de temperatura, la tabla 4.4 indica los límites en los diferentes tipos de termopares existentes en el mercado

Tabla 4.4 Tipos de termopares

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

Fuente: (ARIAN, 2014)

El termopar tipo J del fabricante RS en **base a los parámetros siguientes.**
(Ver Anexo B)

- Conexión de voltaje a corriente directa entre 5 a 12 voltios, que es los parámetros que permite la placa Arduino para trabajar en ella.
- Capacidad de trabajar con vapor saturado.
- Trabaje con norma de seguridad IEC 60584

Figura 4.5 Termocupla tipo J



Fuente: (RS, 2015)

c) Sensor de flama

Sensor que detecte espectro de luz, y sea sensible a cambios, que pueda comparar luz de día con luz de llama, se acople a 5 voltios para trabajar con el controlador y sea de fácil adquisición y manejo, que provea de alcance no lineal

Se la selecciono de acuerdo a estos parámetros.

- Resista hasta 60°C
- Alta fiabilidad
- Velocidad de respuesta a cambios de luz
- Gran alcance de espectro luminoso

Se escogió el sensor STH-113 Módulo de alta fiabilidad, de uso exclusivo para detectar si hay llama midiendo hasta en 60 grados de longitud, lo que permite detectar de manera circular, y no solo de manera unilateral, de alta sensibilidad a la luz, ya que detecta onda de luz de 760 a 1100 nanómetros. (Ver Anexo C)



Figura 4.6 Sensor de flama

Fuente: (box, 2015)

d) Servomotor

Comúnmente llamado servo, motor que es capaz de posesionarse mediante ángulos de giro y mantenerse en ella hasta darse otra instrucción, mediante pulso eléctrico puede ser controlado tanto su posición como velocidad.

El control de este junto a un mecanismo de rueda dentada es el que me permite tener las diferentes aberturas que dan la intensidad de la llama, para este proceso se ha seleccionado bajo los siguientes parámetros:

- El torque del servo debe de ser mayor a 1 kg, debido a que la fuerza no es de tanta necesidad, puesto que el control también puede ser manual.
- Seguridad IP 18.
- Debe ser compacto, es decir de tamaño pequeño.

El servomotor (Hitec) fue elegido, por sus características similares. (Ver anexo E)

Tabla 4.5 Características Servomotor Hitec HS-322HD

HITEC SERVOS												
Item #	HITEC Model	Description	Torque 4.8/6.0V oz/in	Speed 4.8/6.0V Sec.	Bearing	Gear Type	Size LxWxH (in)	Weight (oz)	Gear Part #	Airplane/ Glider	Helicopter	On-Road Off-Road Boat/ Sailboat
Standard Servos												
HRC33322B	HS-322HD	Standard Heavy Duty (20pcs)	42/51	.19/.15	Nylon	Karbonite	1.57x.78x1.43	1.51	HRC55003	•	•	•

Fuente: (Hitec)



Figura 4.7 Servomotor HS-322HD

e) Electroválvula de gas

La electroválvula de gas es la que se encarga de permitir el flujo del combustible, y la selección es bajo los siguientes parámetros:

- Voltaje de entrada de 5 a 10 voltios
- Normalmente cerrada, para cuando no esté conectada o suceda algún inconveniente con la energía esta no permita el paso del combustible.
- Seguridad IP 18

Se llegó a la decisión de la utilización de la electroválvula a través de la observación de un control de calefón, puesto que el sistema de control será similar al que se implementará, su funcionamiento servirá de modelo para el de este trabajo, para lo cual la tabla 4.6 indica las características de la válvula de paso para el gas.

Tabla 4.6 Característica Electroválvula ZD-131

Nombre del producto	válvula Solenoide
Utilice para	LPG Calentador de agua
modelo	ZD131 -C
característica	Auto Absorción
energía	DC 3V
Potencia Tipo de cable	3 Pin de conexión
Diámetro Knob Negro	14mm / 0.55 "
Instale Tamaño de la placa	46 x 43 mm / 1.8 " x 1.7" (L * W)
Tamaño total	46 x 43 x 42m / 1.8 " x 1.7" x 1.65 " (L * W * H)
materia principal	metal
color	Como muestra la figura
peso	150g

Fuente: (ZD-Sensor)



Figura 4.8 Electroválvula ZD-131

4.4 ESQUEMA DE CONTROL

En este epígrafe lo que se pretende es describir la secuencia o pasos que se deben de realizar para el control básico del calderín, para ello se realiza un flujograma que describe el proceso de control en bloques, puesto que se detallara cada proceso en su debido espacio.

La Figura 4.9 presenta el proceso a considerar, este consta de 3 bloques importantes.



Figura 4.9 Bloques del proceso

Para ello se presenta la Figura 4.10 muestra un flujograma general del sistema completo, posterior mente se lo descompondrá y se lo analizara por separado.

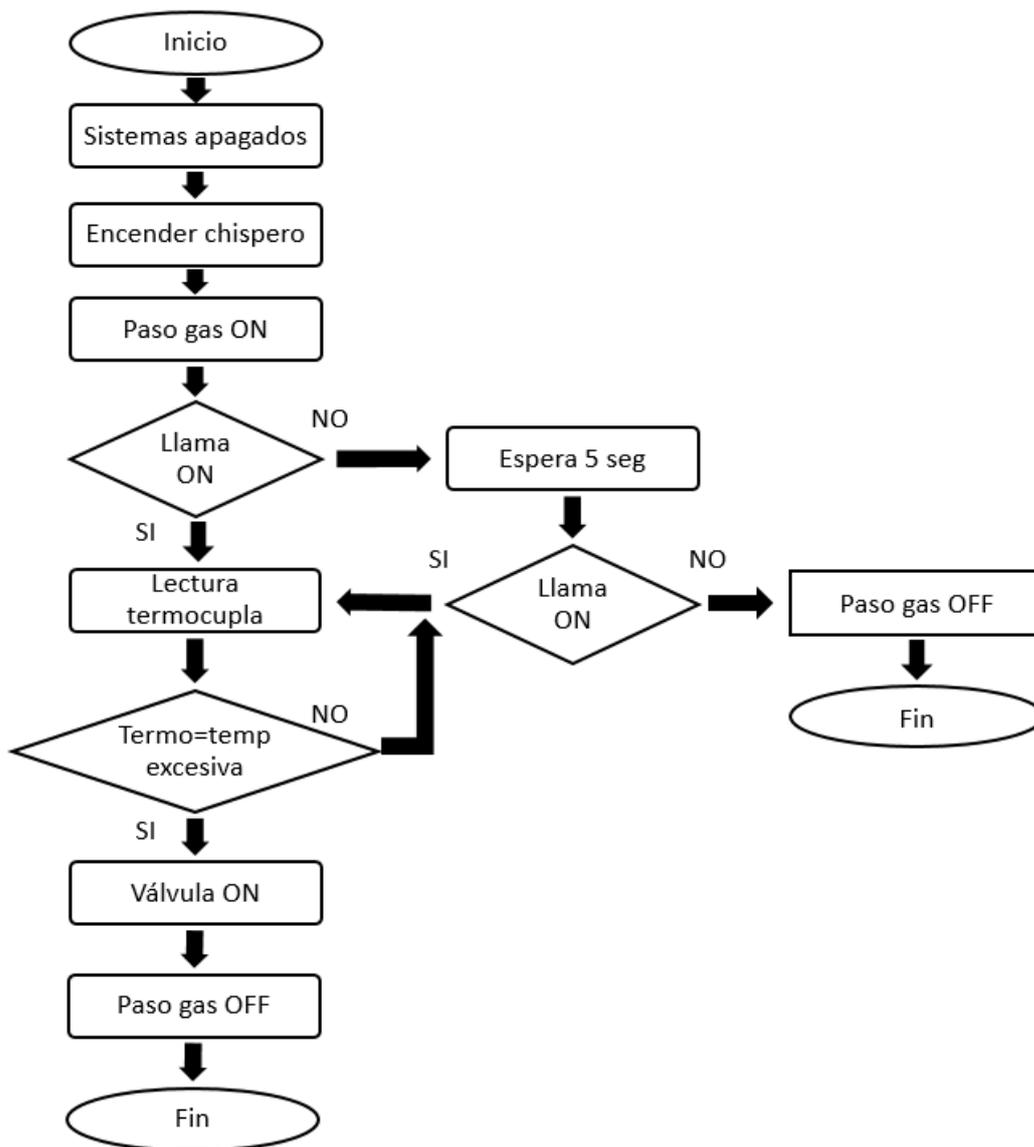


Figura 4.10 Flujograma general

4.4.1 BLOQUE DE ENCENDIDO

La función del bloque de encendido es de generar la llama de una manera adecuada, es decir de una manera segura y rápida, para esto se cuenta con una placa Arduino, la cual monitorea los estados de los sensores que se ocupara, en la Figura 4.11 se puede observar el flujograma para este bloque.

El sistema inicia apagado todos los sensores que se posea, por referirse a la electroválvula de gas, que es la que permite el paso de combustible, a posicionar el servomotor que es el que controlará la perilla del flujo de gas hacia la hornilla, el chispero debe de encenderse primero, para ello una señal

es enviada desde Arduino, está activa la salida en la que se encuentra el chispero, y es de esperar hasta 2 segundos para tener una garantía que el chispero está funcionando de manera adecuada, ya que puede presentarse el caso en el que solo emita una chispa o dos, para ello se sabe que el chispero emite de 15 a 20 chispazos por segundo, para verificar este dato, se logra almacenar cada chispazo dado en un vector y si este supera las 40 posiciones almacenadas (chispazos) en el lapso de tiempo el servomotor pasa a la posición de encendido y abre la válvula del flujo de gas.

Aquí entra a jugar un papel vital el sensor de flama, ya que esta será la que me indique la existencia de llama, debido a que emitirá luz, al igual que en el chispero. Se espera 4 segundos para comprobar si existe llama o no, siendo el peor de los casos, el de no tener llama, se procede a cerrar el paso de gas, apagar el chispero y posicionar el servomotor a su estado inicial.

La generación de llama es lo que se espera con este bloque, siendo ese el caso se procede a realizar la verificación de la llama existente con la fotocelda, si se obtiene un valor positivo de esta se apagará el chispero, y se sigue con el bloque de control.

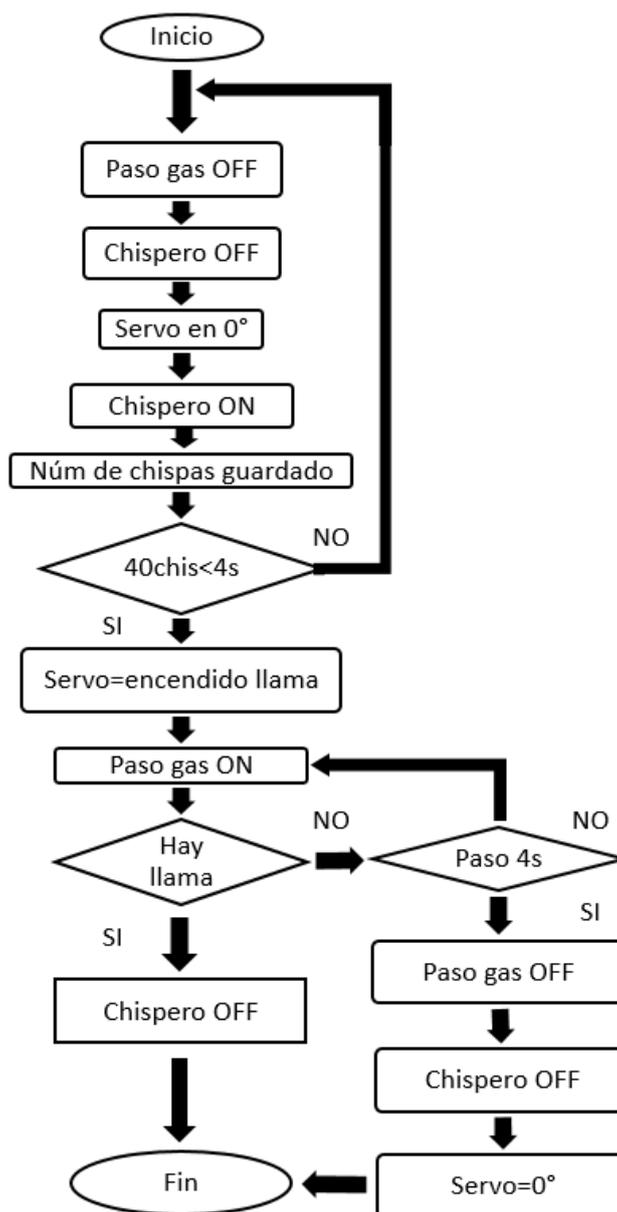


Figura 4.11 Flujograma del bloque de encendido

4.4.2 BLOQUE DE CONTROL

En este bloque la variable a controlar es la temperatura. Gracias a que se cuenta con el modelo matemático del capítulo tres, se sabe cuál es la presión/temperatura a la que se trabajara para obtener la esencia de eucalipto.

Al trabajar con vapor es inevitable el contar con presiones y temperaturas elevadas, al estar encerradas estas pueden dispararse a valores muy altos en cuestiones de minutos, los descuidos pueden generarse, y depender de un solo elemento puede ser trágico, confiar solo de la electrónica o solo de elementos

mecánicos, puede causar una excesiva confianza en el operador siendo este la parte más importante en todo el proceso.

Se cuenta con la ayuda de una válvula de seguridad elemento mecánico, su trabajo se basa en que al ser superior o inferior a la resistencia de un resorte interno que este posea, permite activar o desactivar dos contactos, estas pueden ser reguladas de acuerdo a la necesidad de cada uno, ajustándose así una presión de trabajo.

En la Figura 4.12 se presenta el flujograma para el bloque de control.

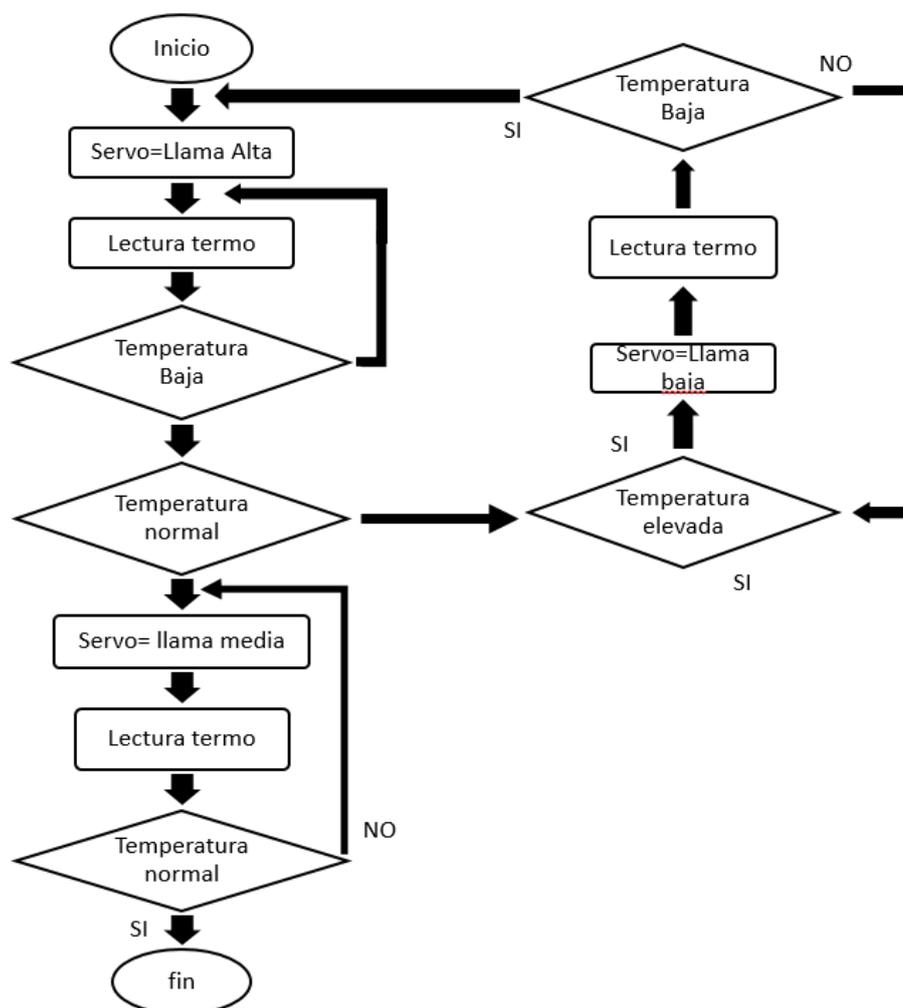


Figura 4.12 Flujograma de control

En la figura 4.12 se puede ver que una vez que la llama se encuentre encendida, el estado del servomotor se cambia a el de llama alta, esto significa que el servomotor cambia su ángulo para proveer de mayor entrada de combustible, y se lee la temperatura emitida, si se da el caso que llegue a un

punto en el que diga que la temperatura está sobrepasando la de los límites establecidos en el modelado, el servomotor volverá a cambiar su posición a la de llama alta por cualquier condición que lo amerite, siendo las posiciones de llama baja y llama media como sus otras dos opciones.

En el caso de llama baja significa que la temperatura ha llegado a un punto entre menor a los 50 grados.

En el caso de llama media, este estado de llama media se quedara hasta que la lectura de temperatura disminuya o aumente, pasando al estado de llama baja o llama alta.

Todo pasa a partir de la lectura de la temperatura, la termocupla usada permite mediciones de hasta 500 grados centígrados, para ello se logró su compensación a través de un amplificador y un sensor digital de temperatura, permitiendo con este último contrarrestar la caída de voltaje que se genera al unir el constantán (terminal de termocupla tipo J) con el cobre de la placa, en la Figura 4.14 se aprecia el esquema mencionado.

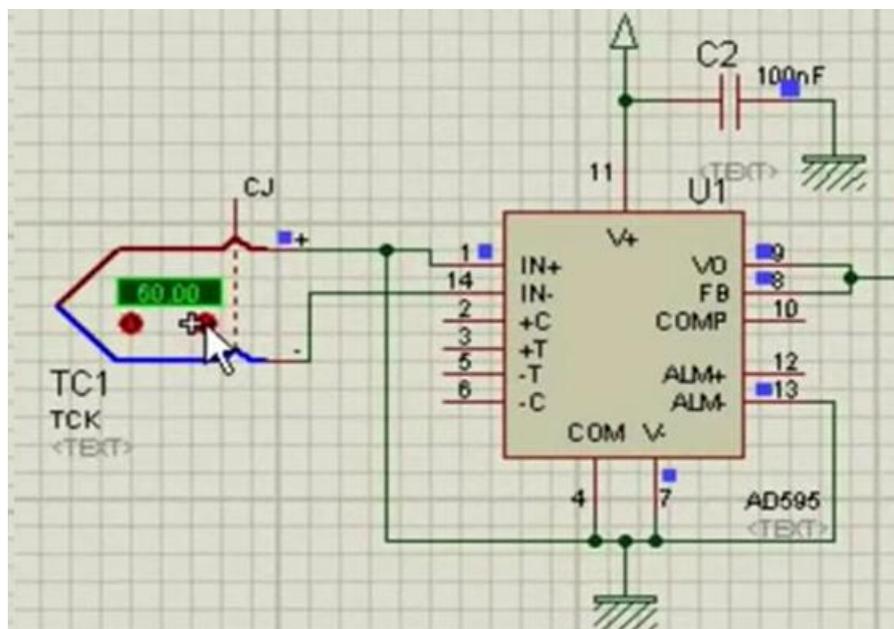


Figura 4.13 Diagrama de la termocupla

Bloque de actuadores

El bloque de actuadores es la esquematización de lo que el sistema hará en caso que lo necesite, para ello en la Figura 4.14 se tiene el flujograma respectivo.

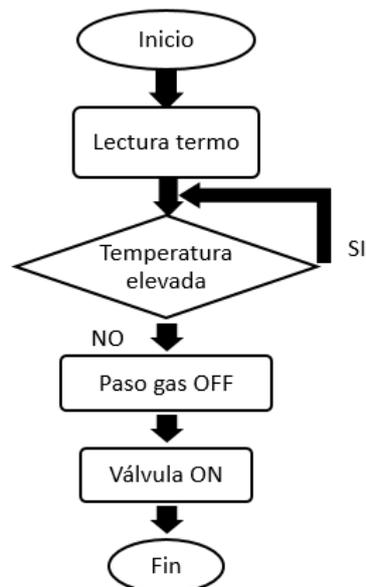


Figura 4.14 Flujograma de Bloque de Actuadores

Cuando la temperatura sobrepase los 145 grados, entramos en un estado que no hay reversa para el vapor de aceite, puesto que tendría el olor a quemado, desperdiciando y contaminando todo el aceite que se ha logrado destilar, es por ello que, cuando llegue a tener esa temperatura interna, la válvula actúa, liberando así la presión almacenada y acumulada en la caldera, cortando el flujo de combustible y posesionando el servomotor a su inicio (apagando la llama).

4.5 TABLERO DE CONTROL

El tablero de control o también denominado eléctrico, es un camarín donde se encuentran alojados elementos de control de un sistema, sean estos desde botones hasta sensores, esta caja si se la puede llamar así, sirve de protección de los elementos hacia el medio ambiente. Usando las normas IEC 60529 se realizó el diseño del tablero de control (eléctrico)

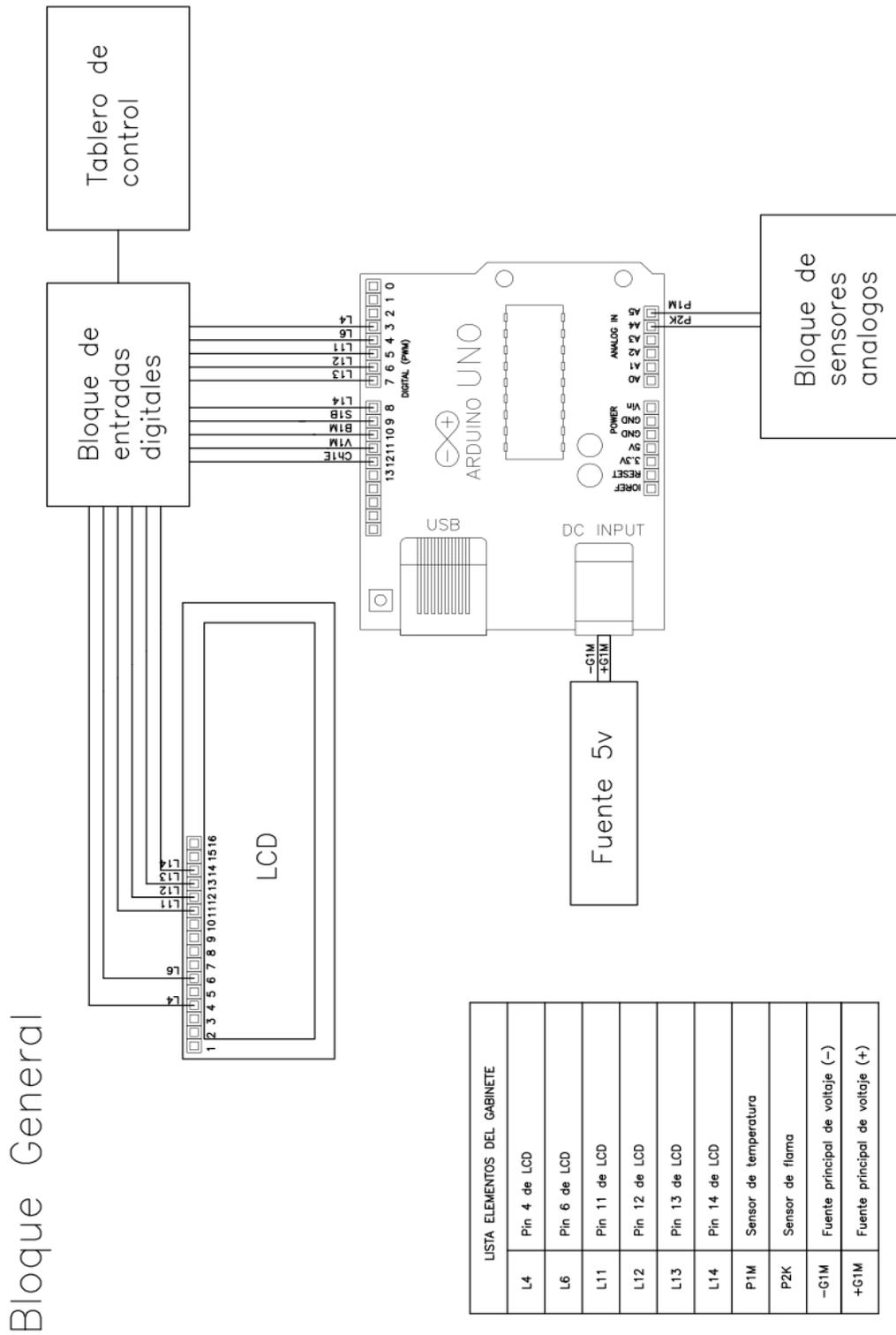


Figura 4.15 Diagrama de control en bloques

Las normas usadas (DIN) permiten detallar el color de cada cable.

Tabla 4.7 Colores de cable

Color de Cable	Uso
Blanco	Referido a Neutro
Negro	Referido a Fase
Verde	Referido a Tierra
Rojo	Positivo
Azul	Negativo
Amarillo	Control

Fuente: (DIN)

4.5.1 ARQUITETURA DEL TABLERO

La representación del tablero se muestra en la Figura 4.16

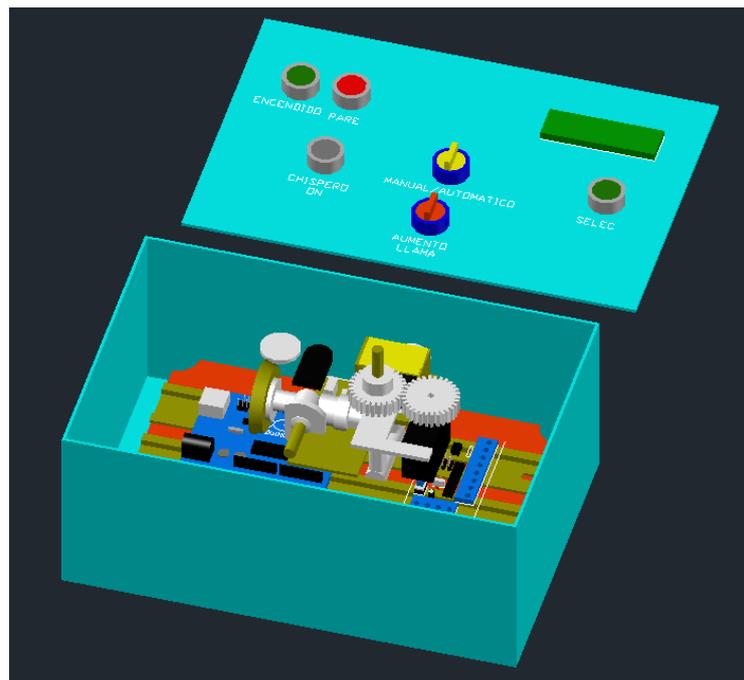


Figura 4.16 Tablero de control en 3D

En la arquitectura interna se puede observar la ubicación de los componentes del tablero, a simple vista se puede ver la placa electrónica Arduino, así como el servomotor y los rieles para la ubicación de la electroválvula de gas, esta se puede observar en la Figura 4.17.

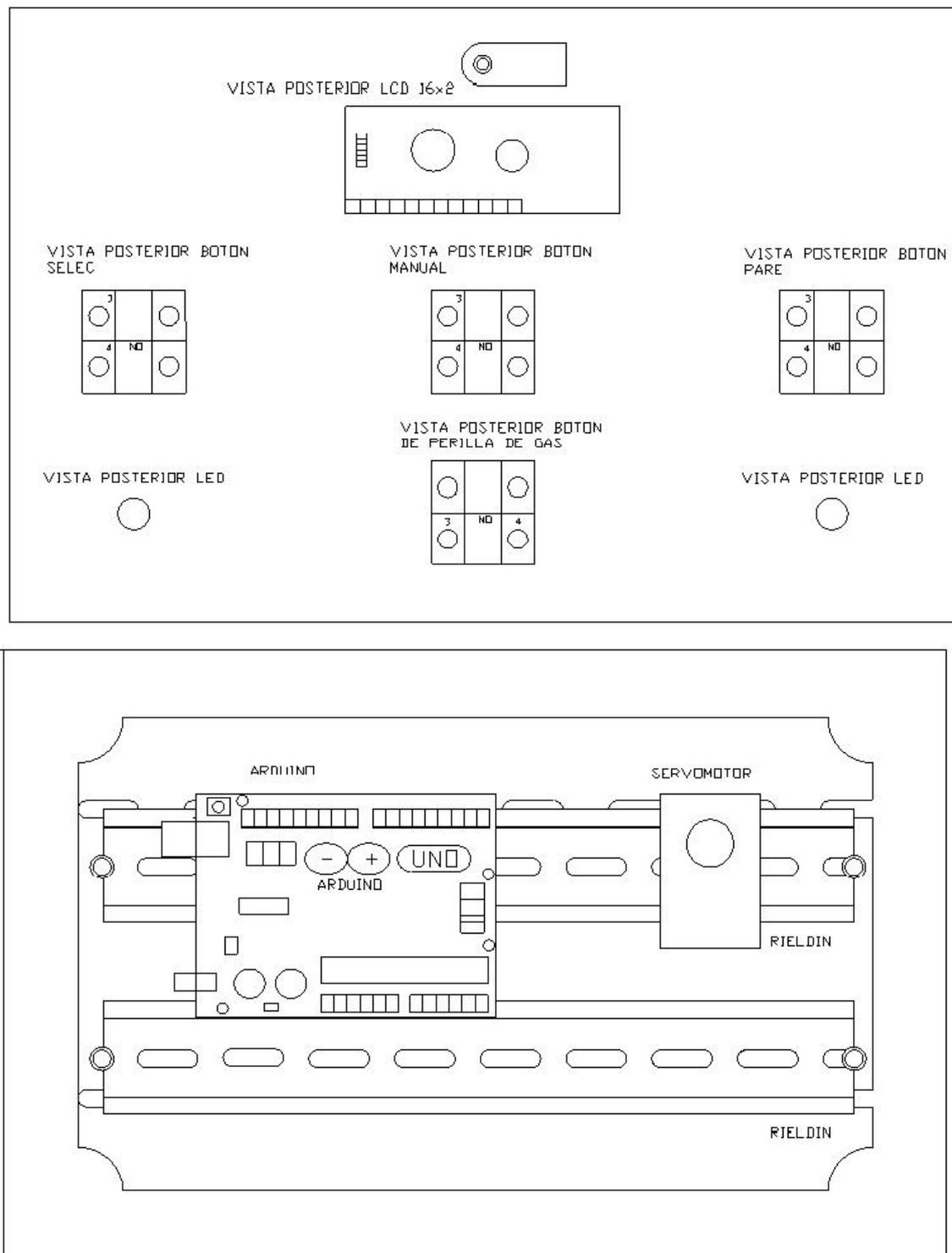


Figura 4.17 Arquitectura Interna del tablero de control

La Figura 4.18 provee de información sobre la parte principal del tablero de control, se aprecia la visualización lograda a través de la LCD ubicada en la parte superior del tablero, al presionar el botón de Selec, se enciende el led izquierdo mostrando que dicho botón ha sido presionado, cuando se apriete el

paro de emergencia (botón derecho) el led del lado derecho se encenderá mostrando que el paro de emergencia ha sido activado.



Figura 4.18 Tablero de control vista de frente

5 PRUEBAS AJUSTES Y RESULTADOS

En el presente capítulo se describe de pruebas, así como la evaluación y ajustes que se tendrán que hacer en caso que sea necesario, perfeccionando los detalles, dejando bases para futuras aplicaciones, y mejoras al proyecto, sin dejar a un lado los resultados que se obtendrán al realizar las pruebas a cada componente, analizando e inspeccionando su correcto funcionamiento.

5.1 PRUEBAS REALIZADAS

El efectuar pruebas a cada componente del sistema, permite obtener valores de funcionamiento, siendo estos analizados, para reconocer las variables críticas y los elementos que controlarían cada uno de los procesos.

Es el caso del encendido de la llama, que es uno de los procesos más vitales que se tienen, ya que sin llama no hay evaporación de agua, y sin este vapor no se conseguirá destilar el aceite que está en el interior de las hojas; se identifican las variables (elementos a controlar) como es la electroválvula del flujo de gas, el servo que regula la intensidad de llama y el chispero eléctrico, causante de generar un alto voltaje capaz de provocar una llama junto con el combustible usado.

Recurriendo a una protoboard se logró manipular cada uno de los elementos de control, la Figura 5.1 muestra el circuito el cual luego se implementó en una placa de control.

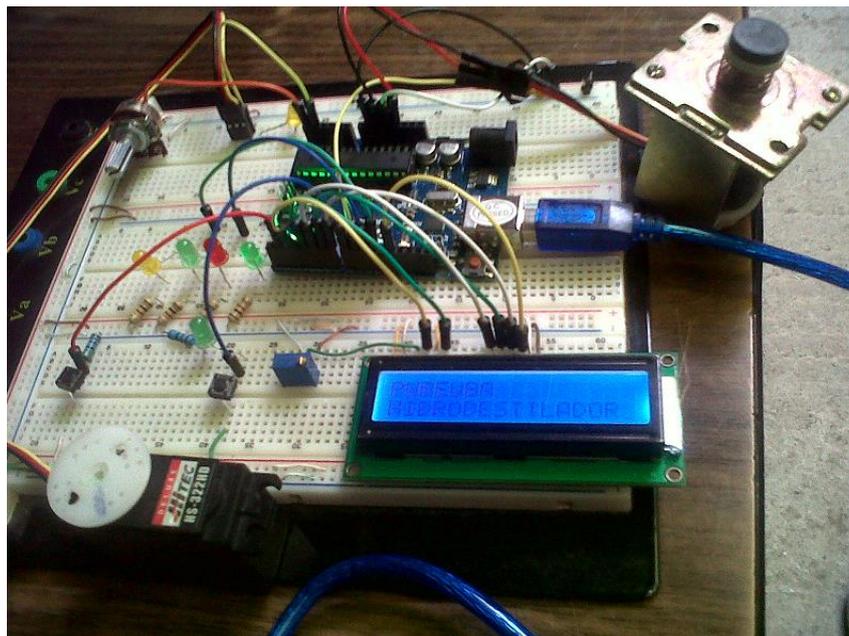


Figura 5.1 Circuito en protoboard

Terminado este periodo de pruebas, el sistema de control no presento falla, permitiendo ser confiable en el control de cada uno de los elementos.

5.1.1 PRUEBA DE ENCENDIDO DE LLAMA

Para la realización de esta prueba se contó con la hornilla a utilizar, más la ayuda de las bujías de alto voltaje, conocidas también como los chisperos

En la figura 5.2 se aprecia las tres etapas de encendido



Figura 5.2 Etapas de encendido

5.1.2 RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

Los resultados alcanzados son establecidos a través de un número de pruebas, siendo estas realizadas individualmente para analizar su comportamiento, una vez que se ha visto que su funcionamiento no ha variado ni ha generado errores se procede a realizar pruebas del conjunto entero, en el Anexo I se presentan las tablas con los datos obtenidos para cada prueba.

a) Encendido de llama

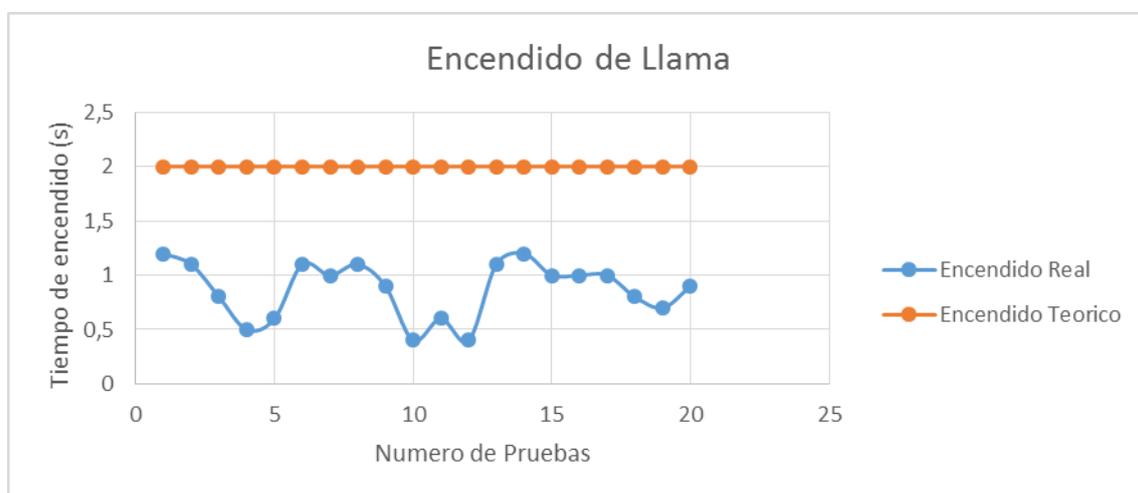


Figura 5.3 Encendido de llama

Los resultados del encendido de la llama se muestran en la Figura 5.3, para la obtención de estos datos, se hizo pruebas individuales, midiendo el tiempo con la ayuda de un cronometro, tomando en cuenta el tiempo desde que se inicia el proceso hasta que surge la llama.

En la Figura 5.2 se aprecian dos curvas, el “*Encendido Teórico*” (Línea roja) es aquel tiempo en el cual se esperaba que la llama se encendiese, este dato es una aproximación teórica con la cual se hizo la programación, es por ello que se compara con la otra curva, la del “*Encendido Real*” (Línea azul), esta es la que fue medida con el cronometro ya antes mencionado.

Obteniendo un buen resultado, ya que en la programación de Arduino se estableció el tiempo de espera en 2 segundos.

Las pruebas realizadas para el encendido de la llama se las hicieron fuera del caldero, así se podía apreciar de mejor manera el tiempo de encendido que tardaría en generar una llama constante y estable, la Figura 5.4 muestra la hornilla ya encendida.



Figura 5.4 Llama encendida

b) Presión y temperatura

Para las pruebas de presión, primero se simulo con potenciómetros en la placa montada con Arduino, esperando ver como varía la intensidad de llama o a su vez simulando el peor de los casos (presión excesiva en el interior del hidroddestilador), al satisfacer las necesidades del control, se procedió a instalar a un lado del caldero un manómetro que facilitara la lectura de la presión al

operario, al igual la colocación de la termocupla tipo J, esto con el fin de tener una relación de presión temperatura

En la Figura 5.5 se muestra el tiempo de reacción que mostro el controlador para para cortar el paso de gas, apagar la llama y permitir que la válvula actúe, permitiendo que escape la presión acumulada del caldero.

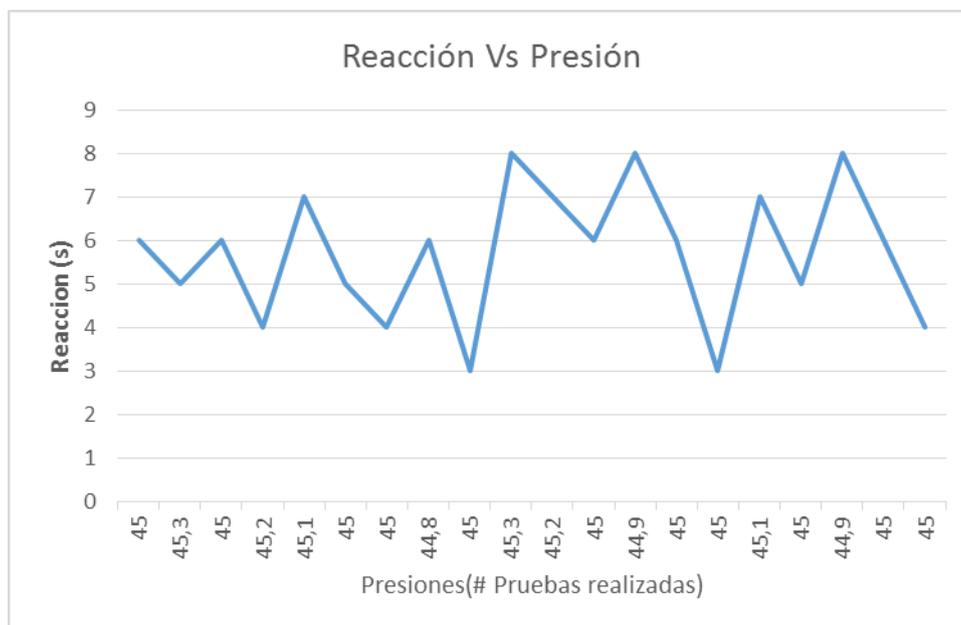


Figura 5.5 Reacción Vs Presión elevada

En la Figura anterior se puede apreciar el tiempo que le toma al sistema en reaccionar ante, una elevada presión de vapor acumulada en el hidroddestilador, este tiempo permite que haya una respuesta pronta de los actuadores, (en esta prueba se está midiendo el tiempo de respuesta del sistema electrónico) evitando que el aceite que ya ha sido extraído (destilado), se contamine, brindando seguridad al operario, esperando con esto volver a destilar con seguridad. (El sistema cuenta con válvula de alivio, la reacción de esta es instantánea, es por ello que la reacción tomada en cuenta en esta prueba es la del sistema electrónico).

5.2 MATERIAL A HIDRODESTILAR

A continuación se detalla los resultados que se tuvieron al realizar varias pruebas en la caldera.

5.2.1 LLENADO DE CALDERO

Para el llenado se tiene que contar con el material y la cantidad de hojas necesarias para la hidrodestilación, para ello y basados en el capítulo 3, en su sección 3, se calculó que el hidrodestilador contara con la cantidad de 28 kilogramos de material herbáceo (si el objetivo es obtener el aproximado a 240 mililitros de esencia pura de eucalipto)



Figura 5.6 Pesaje de hojas de eucalipto

En la Figura 5.6 se observa la forma en que se procedió a pesar las hojas de eucalipto, debido a que no se contaba con una balanza adecuada para medir la cantidad de hojas, se recurrió a pesar por separado, y así obtener el acumulado total de 28 kilogramos.

Una vez que se tiene la cantidad a ser procesada, se continúa a llenar el caldero con las hojas de eucalipto, para ello, todo el material que se logró recolectar y pesar, se coloca en el interior del caldero.



Figura 5.7 Llenado de caldero con hojas de eucalipto

En la Figura 5.7 se observa que las hojas a ser hidrodestiladas se encuentran dentro del caldero, previo de haber depositado los 20 litros de agua que servirá para evaporar y de esta forma proceder a proteger el caldero con su respectiva tapa, en la Figura 5.8 se aprecia el caldero presto a ser ajustada su tapa y ser sellado herméticamente.



Figura 5.8 Caldero sellado

5.2.2 DESTILACIÓN DE ACEITE

Una vez que el caldero esta sellado y se da paso al encendido de llama hay que esperar hasta que el nivel del aceite no varié, de este modo se sabe que se ha terminado la extracción del aceite que se encontraban en las hojas que se depositaron en el interior del caldero, dando por terminado el proceso de obtención de aceite por el método de hidrodestilación.

En la Figura 5.9 se observa la cantidad de aceite que se logró extraer



Figura 5.9 Aceite extraído

Si se procede a quitar la tapa del caldero se podrá ver a lo que se redujo las hojas de eucalipto que sirvieron para la extracción del aceite, en la Figura 5.10 se puede apreciar la decoloración que sufrieron.



Figura 5.10 Hojas destiladas

Una vez realizada con éxito la extracción procedemos a medir el tiempo en el cual fue extraído, para ello en la Figura 5.11 se puede ver la respectiva curva de extracción.

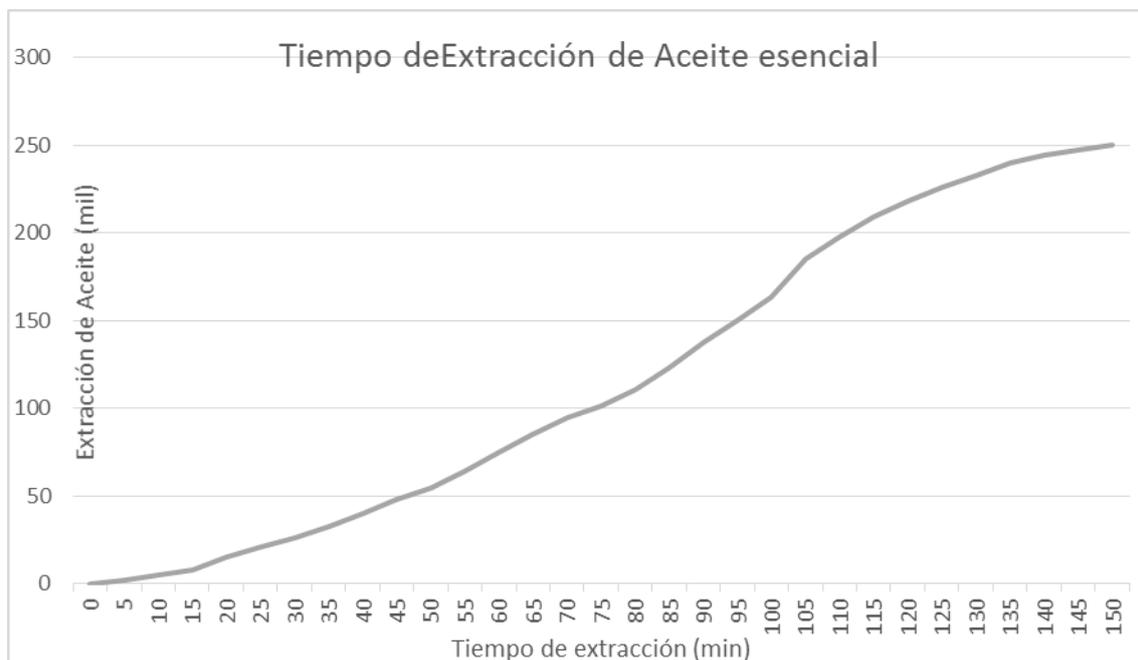


Figura 5.11 Tiempo de Extracción de Aceite

De la Figura anterior podemos apreciar que el proceso de extracción hay cuatro periodos a destacar, estos son:

- a) Minuto 0 al minuto 5, la extracción será nula, debido a que en este tiempo el caldero tarda en calentarse, y la extracción de aceite será nula,

hasta llegar el vapor a la presión adecuada y de esa forma aparecer la primera gota de aceite.

- b) Minutos 10 al 30, aparece la primera gota de aceite destilada, en este tiempo la extracción será mínima, ya que la presión al inicio no será la óptima.
- c) Minuto 30 al minuto 130, se extrae cerca del 85% de aceite, ya que estas son las condiciones ideales, tanto la presión, temperatura están estables, así como la cantidad de aceite en las hojas es óptima.
- d) Minuto 130 al minuto 150, no se extrae mucho aceite, debido a que ya no hay cantidad de aceite considerable en las hojas.

5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Una vez que las pruebas se han realizado a nivel de protoboard y software se procedió a la implementación, para ello se empezó con la realización de la pista para incluir a los elementos de control, en la figura 5.12 se puede ver la placa realizada

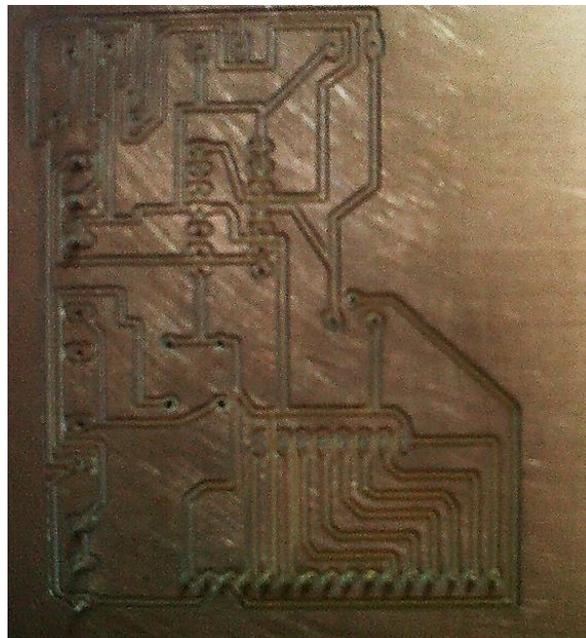


Figura 5.12 Placa de control

Se ubican los distintos elementos a ir en la placa y se procede a soldar, revisando que no haya continuidad ni existan averías en las pistas por utilizar el cautín a una elevada temperatura y se procedió a colocar en dentro del panel

de control, la figura 5.13 y 5.14 indica el llenado del gabinete de control con los distintos elementos a formar parte de él.

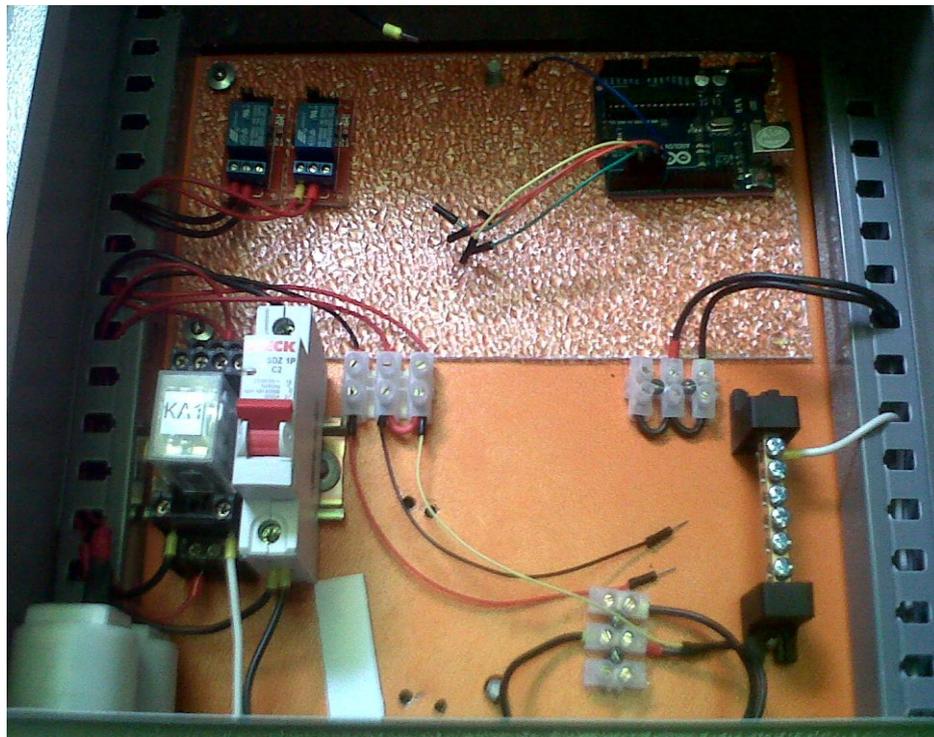


Figura 5.13 Armada de tablero de control



Figura 5.14 Armada del tablero de control con botones

Terminando con el tablero de control se procede a implementar las partes mecánicas como el manómetro y la válvula de escape, la figura 5.15 muestra ambos elementos instalados juntamente con la termocupla y el bloc de encendido de las bujías en la hornilla.

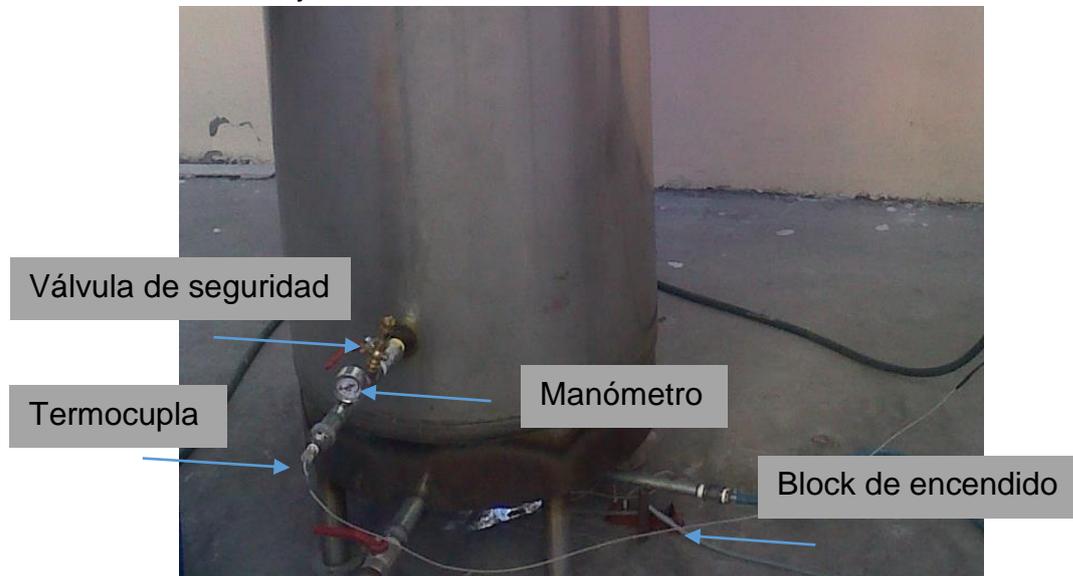


Figura 5.15 Instalación elementos mecánicos

Mostrando en la Figura 5.16 el sistema implementado



Figura 5.16 Sistema implementado

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La investigación permitió indagar en el proceso de hidrodestilación y la comprensión de los fenómenos físicos, termodinámicos y químicos involucrados en el tema, identificando así las variables a ser controladas.
- las pruebas realizadas a cada elemento del sistema arrojaron resultados satisfactorios de su funcionamiento.
- El nuevo sistema implementado provee de seguridad al operario al momento de trabajar con el caldero, diseñando con un circuito de control que utiliza elementos tanto mecánicos como electrónicos, usando sensores y actuadores que consiguen una extracción de aceite en condiciones fiables.
- La automatización propuesta de la máquina hidrodestiladora de aceite, asegura obtener una esencia pura de eucalipto, con un aroma y color propios de un aceite de calidad.
- El proyecto referencia al control automático como una fuente de mejora industrial al proporcionar de soluciones que proveen resultados óptimos, dejando en claro que la ingeniería, no solo relaciona el mejoramiento de procesos, sino también cuida la integridad humana al hacerlos seguros.

6.2 RECOMENDACIONES

- Siendo vital el mantenimiento del hidroddestilador, se aconseja llevar un registro de trabajo, programando con anticipación el tiempo de estas inspecciones, evitando alguna falla que se pueda presentar con el tiempo.
- Tener cuidado cuando se trabaja con presiones altas, si se hacen modificaciones a la maquinaria, estar seguros que se cuenta con sellos herméticos.
- La manipulación de cada elemento debe de hacerse con la respectiva hoja de datos, verificando que se encuentren bien conectados, y si es posible contar con asesoría externa,
- Cuando se trabaje con gas se debe conocer el caudal de combustible que se está manipulando, y en cuanto tiempo tardaría en vaciarse u ocupar el local donde está situado en caso de fuga (con estos datos se trabaja en las programaciones de purga en calderos industriales); para nuestro caso ese tiempo es vital para manejar cierre de válvulas.
- Seguir el cronograma de inspección de los elementos que están en contacto permanente con el agua o vapor, ya que son más propenso a la corrosión, e incrustación de fragmentos de las hojas de eucalipto, provocando malas lecturas o mal funcionamiento de los elementos.
- Para tener un mayor control de la presión de vapor a la que trabajaría el hidroddestilador, se recomienda modificar el sistema dividiéndolo en una primera fase de generación de vapor el cual sería inyectado a una segunda donde estaría el depósito de las hojas

BIBLIOGRAFÍA

- Antioquia, U. d. (02 de 2015). *docencia.udea.edu*. Obtenido de <http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslabquimico/02practicass>
- Arduino. (08 de 02 de 2015). *Arduino cc*. Obtenido de <http://arduino.cc>
- ARIAN. (2014). Termopares. En P. M. Azuaga, *Calibración de una termocupla de Chromel - Alumel* .
- Aromaterapia Egipcia*. (02 de 03 de 2014). Obtenido de http://www.aromaterapiaegipcia.com/sites/default/files/imagecache/lateral_v/imagenes/aceites_html_2584744d.png
- arquidib. (s.f.). *arquidib*. Obtenido de <http://www.arquidib.es/imatges/productos/CALDERIN.jpg>
- box, m. i. (25 de 02 de 2015). *miniinthebox*. Obtenido de [miniinthebox: http://www.miniinthebox.com](http://www.miniinthebox.com)
- Busto, M. A. (2008). Guia de Aceites Esenciales YOUNG LIVING. En M. A. Busto, *Guia de Aceites Esenciales YOUNG LIVING* (pág. 198).
- Cengel, Y. (2010). Transferencia de calor y masa . En Y. A. Ghajar, *Transferencia de calor y masa* (pág. 945). Mexico: McGraw-Hill.
- Chile, U. A. (2015). *Densidad Basica del Eucalyptus Globulus*.
- Collieu, A. M. (s.f.). Obtenido de Collieu, A. M. (1977). Propiedades mecánicas y térmicas de los materiales. Reverté.
- DIN. (s.f.).
- Ecuador, B. C. (2013). Importaciones y Exportaciones 2013. *Banco Central del Ecuador*, 12-19. Obtenido de Banco Central del Ecuador, BCE
- Ecuador, B. C. (2014). PRO ECUADOR. *Guia Comercial de la Republica del Ecuador*, 46. Obtenido de www.bce.fin.ec

eficiente, e. (s.f.). *empresaeiciente*. Obtenido de http://www.empresaeiciente.com/images/empresas/tecnologias/27/img_01.jpg

encrypted-tbn3. (s.f.). Obtenido de <https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTWrkipsFX75OKajrSxCt8cZimAEfMR3XMtjKiC-VH7JWlxP7n>

Frank P. Incropera, David P. DeWitt. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. En D. P. Frank P. Incropera, *Fundamentos de transferencia de calor* (pág. 881). Pearson Educación.

Friddman, Y. (2009). Física Universitaria. En Y. F. Zemansky, *Física Universitaria* (pág. 760). Mexico: Pearson Educacion de Mexico.

Hitec. (s.f.). Hitec HS-322HD .

HOUGEN, O. A. (1947). *CHEMICAL PROCESS PRINCIPLES*. LONDON: CHAPMAN AND HALL.

IEC-61508. (s.f.).

Kern, D. (1999). Procesos de transferencia de calor D. Kern. En D. Q. Kern, *Procesos de transferencia de calor* (pág. 980). Mexico: Continental.

lexicoon. (02 de 2015). *lexicoon*. Obtenido de <http://lexicoon.org>

Lorenzo, J. M. (02 de 2015). *Arboles ornamentales*. Obtenido de <http://www.arbolesornamentales.es/Eucalyptusglobu.jpg>

M, D. (05 de 06 de 2014). *ptable*. Obtenido de ptable: <http://www.phtable.com/?lang=es>

Mexico, U. E. (s.f.). Curso de Seguridad en Calderas.

Moncayo, Z. (2012). *ctividad antibacteriana del aceite esencial de la conobea scopariodes frente a cinco cepas bacterianas de interés clínico en Colombia*. Narino.

natura, f. t. (s.f.). *fito terapia y natura*. Obtenido de <http://www.fitoterapiaynatura.com/img2/decantadorsolo250.gif>

optek. (s.f.). *optek*. Obtenido de http://www.optek.com/images/app_Heat_Exchanger_es.gif

ouderchet, M. &. (2003). Pigments as biomarkers of exposure to the vineyard herbicide flazasulfuron in freshwater algae., (págs. 271-277).

P&D. (s.f.). *Diagramas de Flujo*. Obtenido de <http://1.bp.blogspot.com/-QD4p2sPeCrw/UakTfwq3rPI/AAAAAAAAADI/En5N4Wkb8Nk/s1600/dest.png>

Química, L. G. (s.f.). *La Guía de Química* . Obtenido de La Guía de Química : <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/absortividad#ixzz3KwrMchX1>

Rolle, K. C. (2006). Termodinámica. En K. C. Rolle, *Termodinámica* (pág. 611). Pearson Educación.

RS. (2015). PTC5 . RS, 1.

Sharma, S. (2004). Physics. En S. Sharma, *Objective Pre Engeneering Physics*. Krishna Prakashan Media .

Siemens. (s.f.). Pothoresistive QRB1.

TLV. (s.f.). Pressure Transmitter. *TLV Datasheet*.

ZD-Sensor. (s.f.). ZD- 131.

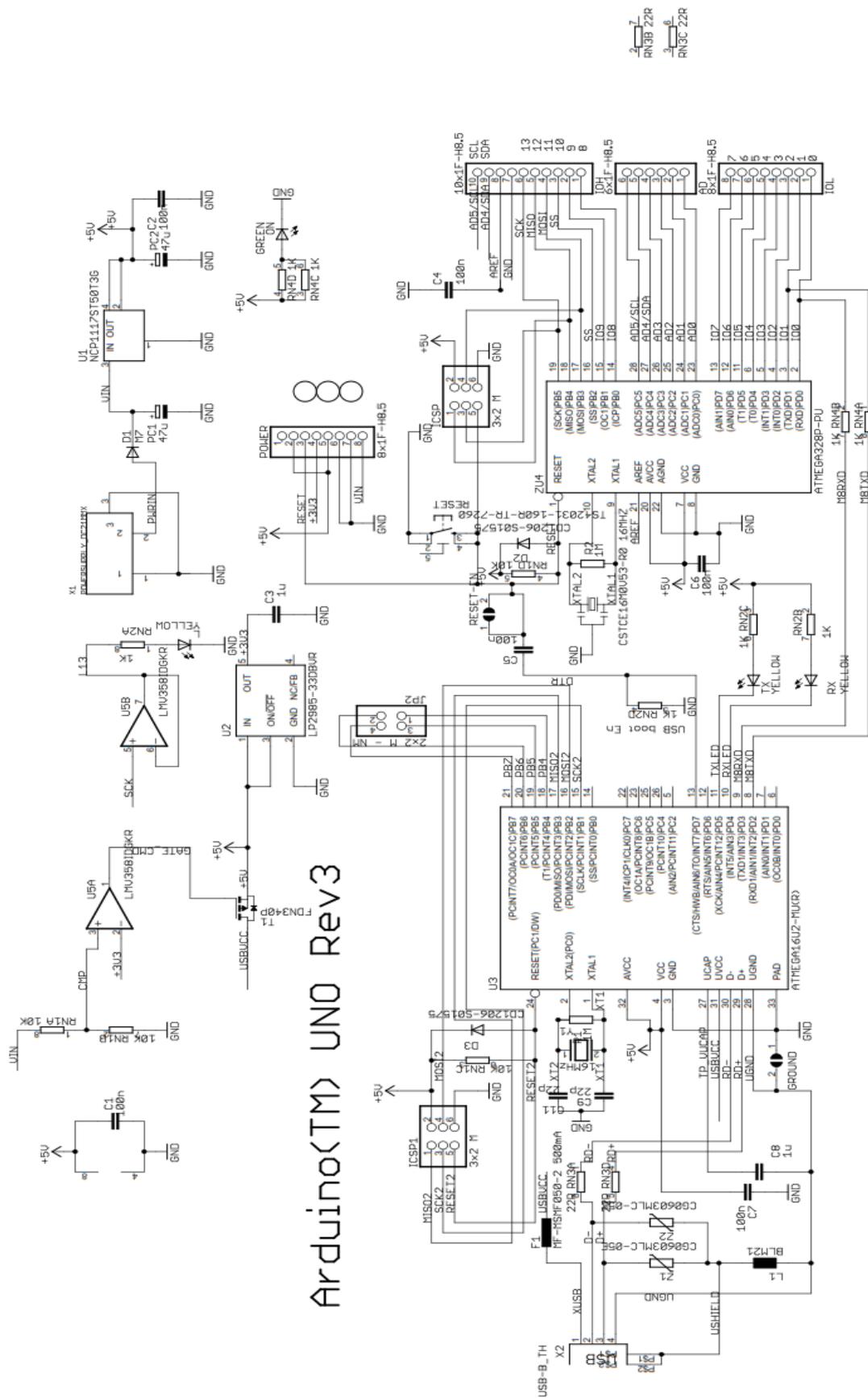
Zemansky. (1985). Calor y Termodinámica. En M. W. Dittman, *Calor y Termodinámica* (pág. 595). Mexico: McGraw-Hill.

ANEXOS

Anexo A: Especificaciones técnicas de Arduino

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g



Arduino(TM) UNO Rev3



Anexo B: Especificaciones técnicas de la termocupla tipo J

Data sheet PTC5



TYPE J THERMOCOUPLE WITH BAYONET LOCK

RANGE :

- 0 / 400°C

USE :

-

KEY POINT :

-

SPECIFICATIONS :

- Bayonet lock at 2 notches $\phi 12 \times 14$ mm
- Isolation Fiber glass / Stainless steel
- Protecting sheath in 316L SS $\phi 5$ mm, length = 30 mm

DIMENSIONS :

- Diameter
- Length = 2500 mm

METROLOGICAL DATA :

- As per IEC 584
- Standard tolerance TC "J" class1:
 $-40^{\circ}\text{C} < t^{\circ} < 375^{\circ}\text{C} = \pm 1.5^{\circ}\text{C}$
 $375^{\circ}\text{C} < t^{\circ} < 750^{\circ}\text{C} = \pm 0.004 \cdot [t]$
- Time constant at 63% in water: 0.7 sec
- Output signal FEM(mV) as per curve of "J" type as per norme IEC 60584

Other Dimensions :

	Length	2500
Lock		
	12 x 14	547-7786
	10 x 15	547-7865

Anexo C: Especificaciones técnicas del sensor de flama

<p>Features</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fast response time ● High photo sensitivity ● Pb free ● This product itself will remain within RoHS compliant version. <p>Descriptions</p> <ul style="list-style-type: none"> ● YG1006 is a high speed and high sensitive NPN silicon phototransistor in a standard 5mm package. <p>Due to its black epoxy the device is sensitive to infrared radiation.</p> <p>Package Dimensions</p>	
--	--

Parameter	Symbol	rating	units
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	V
Emitter-Collector-Voltage	V_{ECO}	5	V
Collector Current	I_c	20	mA
Operating Temperature	T_{opr}	-25~+85°C	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40+85°C	°C
Lead Soldering Temperature	T_{sol}	260	°C
Power Dissipation at (or below) 25°C FreeAir Temperature	P_c	75	mW

Anexo D: Característica del Servomotor

HITEC SERVOS														
Item #	HITEC Model	Description	Torque 4.8/6.0V oz/in	Speed 4.8/6.0V Sec.	Bearing	Gear Type	Size LxWxH (in)	Weight (oz)	Gear Part #	Airplane/Slider	Heli	On-Road	Off-Road	Boat/Sailboat
Standard Servos														
HRC31055S	HS-55	Standard Feather	15/18	.17/.14	None	Nylon	.89x.45x.94	0.28	HRC55001	•	•			
HRC31075S	HS-75BB	Retract	92/114	.45/.34	Top BB	Nylon	1.73x.90x.98	1.23	HRC56343	•				
HRC31077S	HS-77BB	Low Profile Sport	61/76	.18/.14	Top BB	Nylon	1.73x.90x.98	1.23	HRC56370	•	•			
HRC31081S	HS-81BB	Standard Micro	36/42	.11/.09	None	Nylon	1.17/.47/1.16	0.58	HRC56403	•				
HRC31085S	HS-85BB	Premium Micro	42/49	.16/.14	Top BB	Nylon	1.14x.51x1.18	0.67	HRC56365	•	•			•
HRC31225S	HS-225BB	High Performance Mini	54/67	.14/.11	Top BB	Nylon	1.27x.66x1.22	0.95	HRC56341	•	•			•
HRC31311S	HS-311	Standard Economy	42/51	.19/.15	Nylon	Nylon	1.57x.78x1.43	1.51	HRC55002	•	•	•		•
HRC31422S	HS-422	Standard Deluxe	46/57	.21/.16	Oilite	Nylon	1.59x.77x1.44	1.60	HRC56334	•	•			•
HRC31425S	HS-425BB	Standard Deluxe	46/57	.21/.16	Dual BB	Nylon	1.59x.77x1.44	1.60	HRC56334	•	•	•		•
HRC31805S	HS-805BB	Mega Giant Scale	275/343	.19/.14	Dual BB	Nylon	2.59x1.18x2.26	5.40	HRC56350	•		•	•	•
HRC31815S	HS-815BB	140° Sail Arm	275/343	.19/.14	Dual BB	Nylon	2.59x1.18x2.26	5.40	HRC56350	•				•
HRC32065S	HS-65MG	High Torque Ultra Micro	25/31	.14/.11	Top BB	Metal	.92x.45x.94	0.44	HRC55315	•	•	•	•	
HRC32082S	HS-82MG	Standard Micro	39/47	.12/.10	None	Metal	1.17x.47x1.16	0.66	HRC56386	•	•	•	•	•
HRC32085S	HS-85MG	Premium Micro	42/49	.16/.14	Top BB	Metal	1.14x.51x1.18	0.77	HRC56388	•	•	•	•	•
HRC32125S	HS-125MG	Slim Wing	42/49	.17/.13	Dual BB	Metal	1.18x.39x1.33	0.84	HRC55301	•				•
HRC32225S	HS-225MG	High Performance Mini	54/67	.14/.11	Top BB	Metal	1.27x.66x1.22	1.10	HRC56396	•	•			•
HRC32625S	HS-625MG	High Torque	76/94	.18/.15	Dual BB	Metal	1.59x.77x1.48	1.94	HRC55302	•	•	•	•	•
HRC32645S	HS-645MG	Ultra Torque	107/133	.24/.20	Dual BB	Metal	1.59x.77x1.48	1.94	HRC55303	•	•	•	•	•
HRC32755S	HS-755MG	Giant Scale	167/200	.28/.23	Dual BB	Metal	2.32x1.14x1.96	4.12	HRC55316	•	•	•	•	•
HRC32805S	HS-805MG	Mega Giant Scale	343/275	.19/.14	Dual BB	Metal	2.60x1.20x2.30		HRC56410			•	•	
HRC32965S	HS-965MG	Ultra Speed Coreless	111/139	.13/.10	Dual BB	Metal	1.57x.78x1.45	2.18	HRC55313	•	•	•	•	•
HRC32985S	HS-985MG	Ultra Torque Coreless	144/172	.16/.13	Dual BB	Metal	1.57x.78x1.45	2.18	HRC55314	•	•	•	•	•
HRC33035S	HS-35	INFO to follow								•				
HRC33045S	HS-45HB	Premium Feather	14/7	.14/.12	Top BB	Karbonite	.92 x .38 x .88	0.28	HRC55025	•	•			
HRC33056S	HS-56HB	Deluxe Feather	16/19	.12/.10	Top BB	Karbonite	.88x.45x.94	0.39	HRC55007	•	•	•		
HRC33065S	HS-65HB	High Torque Ultra Micro	25/31	.14/.11	Top BB	Karbonite	.92x.45x.94	0.39	HRC55013	•	•	•		
HRC33322S	HS-322HD	Standard Heavy Duty	42/51	.19/.15	Nylon	Karbonite	1.57x.78x1.43	1.51	HRC55003	•		•		•
HRC33325S	HS-325HB	Heavy Duty Standard	42/51	.19/.15	Top BB	Karbonite	1.57x.78x1.43	1.51	HRC55003	•	•	•		•
HRC33485S	HS-485HB	Deluxe Heavy Duty	72/89	.20/.17	Top BB	N/A	N/A	N/A	HRC55030	•	•	•		•
HRC33635S	HS-635HB	High Torque Standard	69/83	.18/.15	Dual BB	Karbonite	1.56x.77x1.52	1.83	HRC55006	•	•	•	•	•
HRC33755S	HS-755HB	Giant Scale	153/183	.28/.23	Dual BB	Karbonite	2.31x1.14x1.96	3.88	HRC55008	•				•
HRC33765S	HS-765HB	Sail Arm	153/183	.28/.23	Dual BB	Karbonite	2.32x1.14x1.96	3.88	HRC55011					•
HRC33785S	HS-785HB	Sail Winch	153/183	1.68/1.38	Dual BB	Karbonite	2.32x1.14x1.96	3.88	HRC55012					•
Bulk Standard Servos														
HRC31055B	HS-55	Standard Feather (20pcs)	15/18	.17/.14	None	Nylon	.89x.45x.94	0.28	HRC55001	•	•			
HRC31422B	HS-422	Standard Deluxe (20pcs)	46/57	.21/.16	Oilite	Nylon	1.59x.77x1.44	1.60	HRC56334	•	•			•
HRC33322B	HS-322HD	Standard Heavy Duty (20pcs)	42/51	.19/.15	Nylon	Karbonite	1.57x.78x1.43	1.51	HRC55003	•	•			•

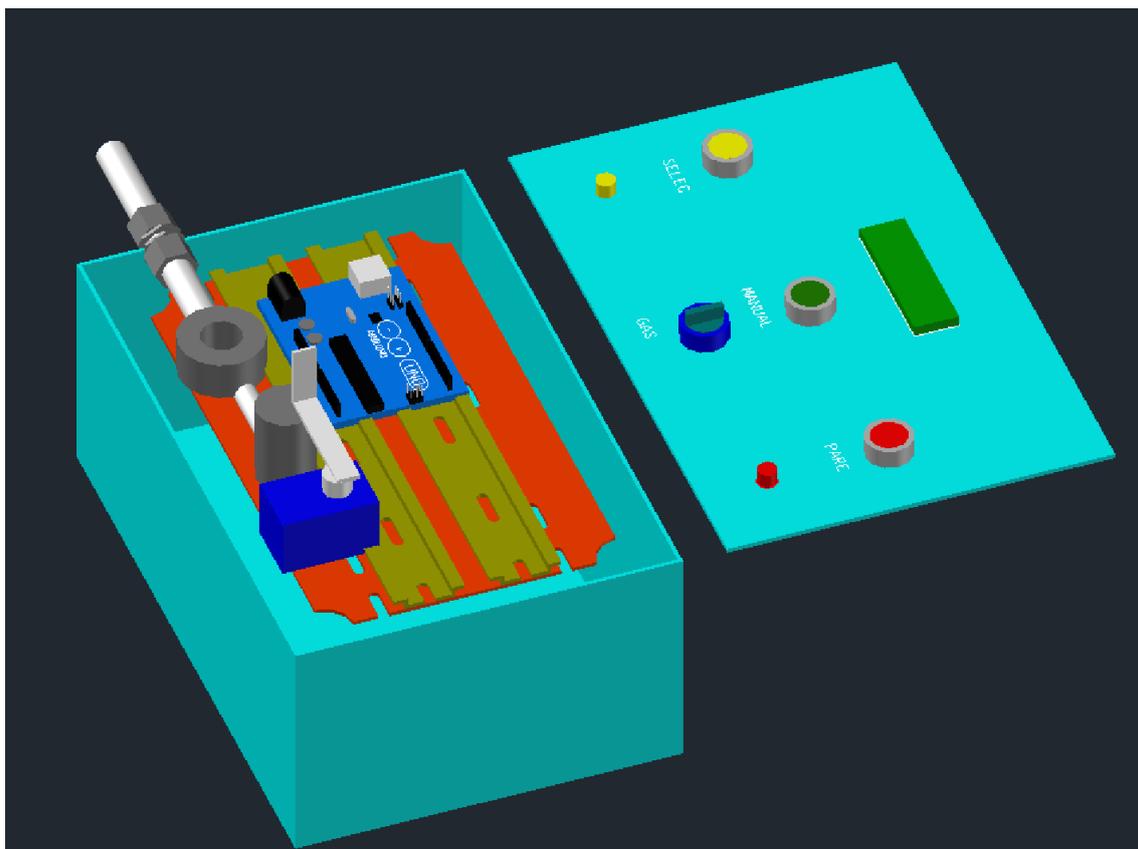
Anexo E: Electroválvula ZD-131

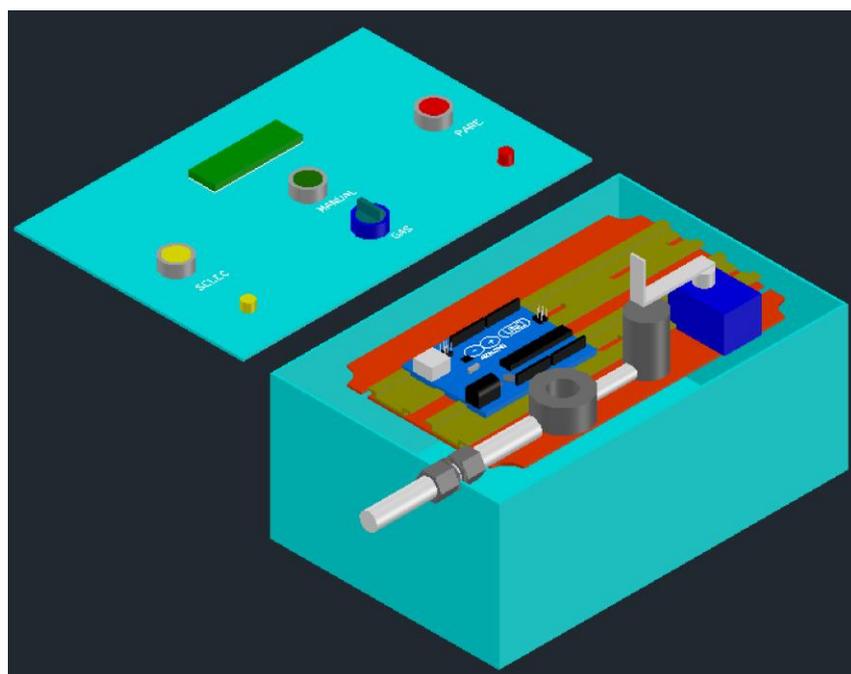
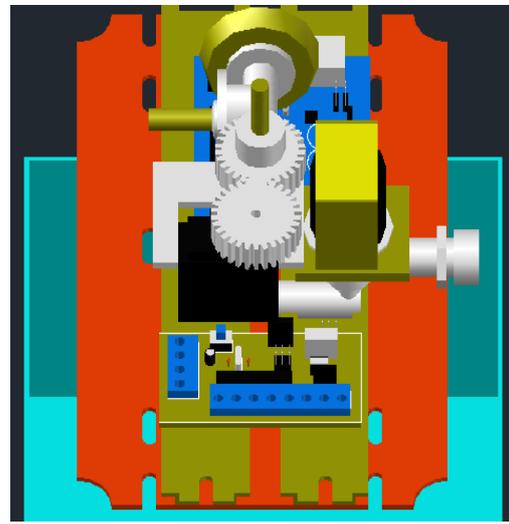
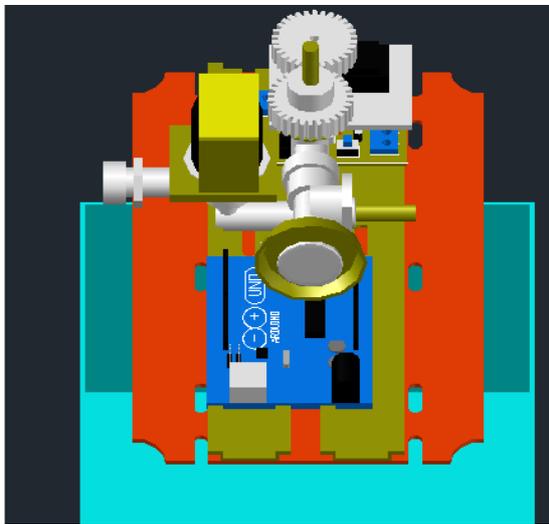
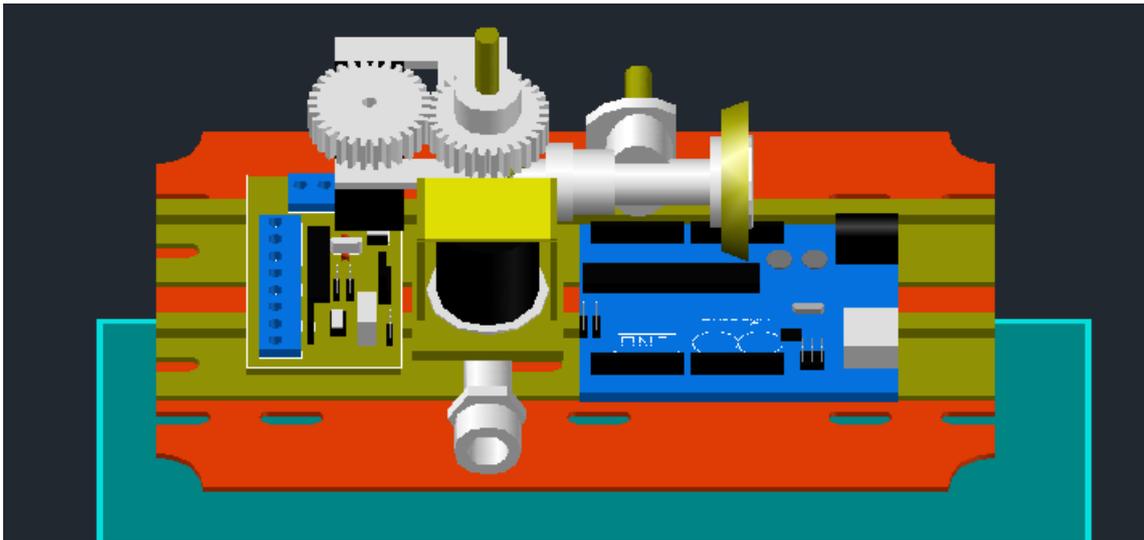
Pliego de condiciones:

NOMBRE DEL PRODUCTO	VÁLVULA SOLENOIDE
Utilice para	LPG Calentador de agua
modelo	ZD131 -C
característica	Auto Absorción
energía	DC 3V
Potencia Tipo de cable	3 Pin de conexión
Diámetro Knob Negro	14mm / 0.55 "
Instale Tamaño de la placa	46 x 43 mm / 1.8 " x 1.7" (L * W)
Tamaño total	46 x 43 x 42m / 1.8 " x 1.7" x 1.65 " (L * W * H)
material principal	metal
color	Como muestra la figura
peso	150g
contenido del paquete	Válvula Solenoide Calentador de agua 1x

Descripción:

- Auto Absorción electroválvula para GLP o calentador de agua NG.
- Cable de alimentación conectar la alimentación más ligera, placa de metal instalar con hidrosfera válvula de vinculación

Anexo F: Tablero de Control






```

double temperatura;

void setup(){

    pinMode(ok,INPUT);          // Pin del pulsador ok como entrada
    intencidad.attach(9);       // Pin de Salida del Servo
    pinMode(pasoGas, OUTPUT);   // Pin que permite el paso de gas como salida
    pinMode(chispero,OUTPUT);   // Pin de Chispero como salida
    pinMode(presostato,OUTPUT); // Pin de salidad del Presostato
    milcd.begin(16,2);          // Selecciona el tamano de la lcd
    Serial.begin(9600);         // velocidad de trabajo
    delay(10);                  // Retardo para inicializar todas las variables
    milcd.setCursor(0,0);       // Poseciono mensaje
    milcd.write(" AUTOMATIZACION "); // Escribo mensaje
    milcd.setCursor(0,1);
    milcd.write("HIDRODESTILACION");
    delay(2000);
    milcd.clear();
    milcd.setCursor(0,0);       // poseciono mensaje
    milcd.write("ACEITE ESENCIAL"); // escribo mensaje
    milcd.setCursor(0,1);       // poseciono mensaje
    milcd.write(" DE EUCALIPTO");
    delay(2000);

}

void loop() {

// Leer si ya existe la llama si no existe la llama hace lo siguiente
////////// MENSAJE DE BIENBENIDA //////////

    while(on<1){

```

```

milcd.clear();

milcd.setCursor(0,0);    // poseciono mensaje
milcd.write(" INICIAR"); // escribo mensaje
milcd.setCursor(0,1);    // poseciono mensaje
milcd.write("PRECIONE OK ");
delay(200);

if(digitalRead(ok) == LOW ){

  on=on+1;

  delay(1000);

}

}

if(digitalRead(ok) == HIGH ){

  while(chis<1){

    intencidad.write(160);

    milcd.clear();

    milcd.setCursor(0,0);    // poseciono mensaje
    milcd.write("ENCENDER SISTEMA"); // escribo mensaje
    milcd.setCursor(0,1);    // poseciono mensaje
    milcd.write("PRESIONE OK"); // escribo mensaje
    delay(400);              // Necesario este tiempo para q pueda leer el boton

    if(digitalRead(ok) == LOW ){

      delay(500);            // Tiempo necesario para q ejecute la instruccion
      digitalWrite (presostato, LOW);

      milcd.clear();

      milcd.setCursor(0,0);    // poseciono mensaje
      milcd.write(" POSESIONANDO"); // escribo mensaje
      milcd.setCursor(0,1);    // poseciono mensaje
      milcd.write(" PILOTO"); // escribo mensaje

      intencidad.write(80);

      delay(1000);
    }
  }
}

```



```
milcd.setCursor(0,0);
milcd.write("DANDO PASO A GAS");
milcd.setCursor(0,1);
milcd.write("NO HAY LLAMA");
delay(50);
if(valorFoto >= 50){
  digitalWrite(chispero,LOW);
  openGas++;
  milcd.clear();
  milcd.setCursor(0,0);
  milcd.write("SI HAY LLAMA");
  milcd.setCursor(0,1);
  milcd.write("APAGANDO CHISPRO");
  delay(1000);
  esperaLlama = 300;
  pres++;
}
esperaLlama++;
delay(10);
}
if(esperaLlama >= 70 && openGas == 1){
  milcd.clear();
  milcd.setCursor(0,0);
  milcd.write("SISTEMA APAGADO ");
  milcd.setCursor(0,0);
  milcd.write("NOSE DTCTA LLAMA");
  openGas++;
  delay(1000);
  digitalWrite(pasoGas, LOW);
  milcd.clear();
```

```
milcd.setCursor(0,0);
milcd.write("FLUJO DE GAS OFF ");
delay(1000);
digitalWrite(chispero,LOW);
milcd.clear();
milcd.setCursor(0,0);
milcd.write("CHISPERO OFF ");
delay(1000);
on=0;
chis=0;
pres=0;
openGas=0;
esperaLlama=0;
}
}while(openGas==1 && esperaLlama < 90);
}
valorFoto=analogRead(fotocelda);
delay(20);
if(pres==1 && valorFoto >50){
  temperatura= analogRead(adc);
  delay (10);
  c= ((temperatura*5000)/1024);
  delay(10);
  if(c<1023){
    temp=((x1*c)+b1);
  }
  else {
    temp=((x2*c)-b1);
  }
}
milcd.setCursor(0,0);
```

```
milcd.print("Temp =");
milcd.setCursor(8,0);
milcd.print(temp);
delay(50);
intencidad.write(10);
if(c>606 && temp<=1200)
{
    intencidad.write(50);
    milcd.setCursor(0,1);
    milcd.print("TEMP ELEVADA");
    delay(100);
}
    if(c>606 && c<=980);
    {
        intencidad.write(100);
        milcd.setCursor(0,1);
        milcd.print("TEMP NORMAL");
        delay(100);
    }
if(c<=606)
{
    intencidad.write(130);
    milcd.setCursor(0,1);
    milcd.print("TEMP BAJA");
    delay(100);
}
else
{
    milcd.clear();
    milcd.setCursor(0,0);
```

```
milcd.print("TEMP ELEVADA");  
milcd.setCursor(0,1);  
milcd.print("PASO GAS OFF");  
digitalWrite(pasoGas, LOW);  
on=0;  
chis=0;  
pres=0;  
openGas=0;  
esperaLlama=0;  
delay(2000);  
}  
}  
}
```

Anexo H: Tablas de las pruebas realizadas**ENCENDIDO DE LLAMA**

Numero de Prueba	Encendido Teórico (s)	Encendido Real (s)
1	2	1,2
2	2	1,1
3	2	0,8
4	2	0,5
5	2	0,6
6	2	1,1
7	2	1
8	2	1,1
9	2	0,9
10	2	0,4
11	2	0,6
12	2	0,4
13	2	1,1
14	2	1,2
15	2	1
16	2	1
17	2	1
18	2	0,8
19	2	0,7
20	2	0,9

VARIACIÓN DE PRESIÓN

Numero de Prueba	Tiempo (s)	Presión
1	6	45
2	5	45,3
3	6	45
4	4	45,2
5	7	45,1
6	5	45
7	4	45
8	6	44,8
9	3	45
10	8	45,3
11	7	45,2

12	6	45
13	8	44,9
14	6	45
15	3	45
16	7	45,1
17	5	45
18	8	44,9
19	6	45
20	4	45

Tiempo de extracción de aceite esencial

Tiempo de extracción (min)	Cantidad de Aceite (ml)
0	0
5	2
10	5
15	8
20	15
25	21
30	26
35	33
40	40
45	48
50	55
55	64
60	75
65	85
70	95
75	101
80	111
85	123
90	138
95	150
100	163
105	185
110	198
115	209
120	218
125	226
130	233
135	240
140	244
145	247
150	250

Anexo I: Hoja de cálculo en excel

Eucalipto Globulus												
volumen de aceite a obtener	v	250 ml	$\delta = \frac{\text{masa (m)}}{\text{volumen (v)}}$ $0,921 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \left(\frac{1000\text{ml}}{1\text{L}} \right) \left(\frac{1\text{l}}{1000\text{cm}^3} \right)$	La Ecuacion de Antoine Es una expresion matematica que relaciona la presion saturada de vapor con respecto a la temperatura ambas de una sustancia pura, dando la presion en mm de mercurio								
Rendimiento	η	0,8 %										
Densidad	δ	0,921 g/ml										
volumen del hidrostilador	vt	1000 cm3										
			0,7368									
			73,68									
regla de 3, sabiendo que:			para sacar el contenido vegetal que ira al caldero									
	$100 X_{g\text{Hierba}} \longrightarrow Z_{g\text{Aceite}}(n)$		Ecuacion de Antoine $\log_{10} P = A - \frac{B}{T + C}$									
	$X_{g\text{Hierba}} \longrightarrow V_{g\text{Aceite}}(m)$		Donde A, B y C son Constantes y T es la temperatura de ebullicion de la sustancia dada en grados Celcius									
	$V_{g\text{Aceite}} = \frac{\eta \cdot X_{g\text{Hierba}}}{100} = \frac{0,8 \cdot X_{g\text{Hierba}}}{100}$		Para el Agua (H2O)		Para el Eucalyptol (C10H18O)							
	$V_{g\text{Aceite}} = 0,008 X_{g\text{Hierba}}$		A = 8,07131	B = 1730,63	A = 6,6948	B = 1295,59						
despejo masa			C = 233,426	T = 100	C = 282,51	T = 100						
	$m = \delta \cdot v$		$\log_{10} P = 2,880862944$		$\log_{10} P = 3,30772515$							
	$0,008 X_{g\text{Hierba}} = 0,921 \cdot 250$		P = 760,0863692 mmHg		P = 2031,07122 mmHg							
	$X_{g\text{Hierba}} = \frac{0,921 \cdot 250}{0,008}$		P = 14,69757826 Psi		P = 39,2742581 Psi							
	$X_{g\text{Hierba}} = 28781,25 \text{ g}$		<table border="1"> <tr> <th>Sustancia</th> <th>mmHg</th> <th>Psi</th> </tr> <tr> <td>Equivalencias</td> <td>1</td> <td>0,019336721</td> </tr> </table>		Sustancia	mmHg	Psi	Equivalencias	1	0,019336721		
Sustancia	mmHg	Psi										
Equivalencias	1	0,019336721										
cantidad requerida de hojas	$X_{g\text{Hierba}} = 28781,25 \text{ Kg}$											

fraccion molar (Xn)				$X_n = \frac{\text{mol}_n}{\text{mol}_T}$	para el agua	contenido de agua				
es una unidad de concentracion, es una relacion entre un soluto y un solvente				donde: mol= moles	1ml = 1g	20 l				
soluto: sustancia minoritaria				n= componente	20000 ml					
solvente: sustancia mayoritaria que contiene al soluto				T= totales						
Materia	Sustancia	peso i (g)	peso f (g)	residuo						
eucalipto	C10H18O	28781,25	28781,25							
agua	H2O	20000	5000	15000						
Peso Molecular	Atomo	# atomos	Peso atomico	Peso Molecul	Peso total (g)	Moles (mol)	Fraccion Molar	Moles f (mol)	fraccion molar f	residuo
Eucalyptol	C	10	12	120	154	186,8912338	0,143983741	186,8912338	0,402202921	
	H	18	1	18						
	O	1	16	16						
Agua	H	2	1	2	18	1111,111111	0,856016259	277,7777778	0,597797079	833,333333
	O	1	16	16						
total fraccion molar =							1		1	

en este proceso hago valido el calculo de un evaporador

densidad del aceite es de p 0,921

$$M^V = \frac{M^I \cdot m^I_{H_2O} - M^I \cdot m^F_{H_2O}}{m^V_{H_2O}} = 591,293231$$

Balance General

$$M^I = M^F + M^V \quad 921$$

Balance por componente

Eucalyptol: $M^I m^I_s = M^F m^F_s$

Agua $M^I m^I_{H_2O} = M^F m^F_{H_2O} + M^V m^V_{H_2O}$

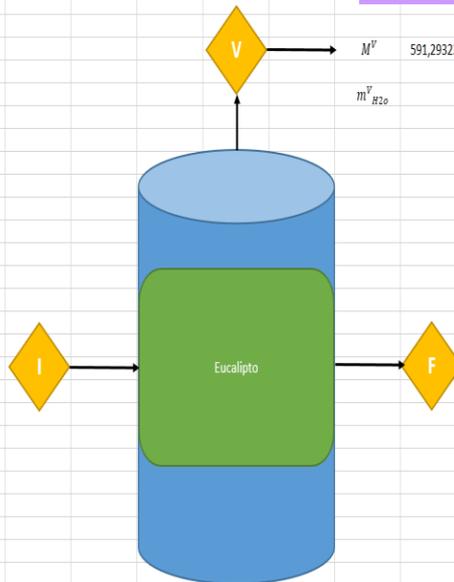
$M^V = 591,293231$
 $m^V_{H_2O} = 1$

$$M^I = \frac{M^I \cdot m^I_s}{m^I_s}$$

$M^I = 921$

$m^I_s = 0,14398374$

$m^I_{H_2O} = 0,85601626$



capacidad del Hidrodestilador

$$M^I = 1000L \left(\frac{1000cm^3}{1L} \right) \left(\frac{0,921g}{1cm^3} \right) \left(\frac{1kg}{1000g} \right) = 921 \text{ kg}$$

Contenido total del hidrodestilador

$M^F = 329,706769 \text{ kg}$

$m^F_s = 0,40220292$

$m^F_{H_2O} = 0,59779708$

$$M^F = \frac{M^I \cdot m^I_s}{m^F_s}$$

balance de energia del caldero

Taguai	20 °C	H=Cp·ΔT
Taguai	100 °C	
combustion	1200 °C	
vapor final	10000 kg/h	
perdida (Q)	600 kg/h	
	60000	

vapor que sale	M4 (kg/h)	20	20000
	T (°C)	100	
	H4 (cal/kg)	419,17	kJ/kg
		100,117	cal/g
		100117	cal/kg

	kelvin	celsius	fahrenheit
	0	-273,15	
	300	26,85	
	1473,15	1200	
	673,15	400	
	kJ	cal	
	1	238,8459	
	Kg	g	
	1	1000	

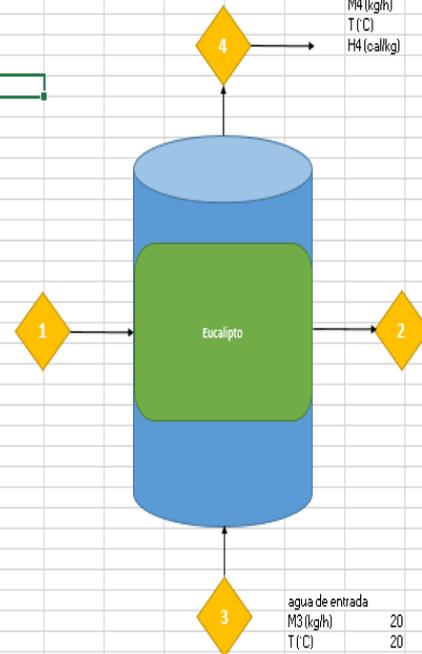
Calor que entra
H1 = 9265,178 cal/g mol

gases que salen
H2 = 2804,927

Gases de Combustion

T	1200
fraccion mo	Cp (cal/mol)
N ₂	0,766 7,5
CO ₂	0,04 11,94
H ₂ O	0,06 9,2
O ₂	0,134 7,34
C _p promedio	7,83856 cal/mol C
M1 (kg/h)	

T	400
fraccion mo	Cp (cal/mol)
N ₂	0,766 7,09
CO ₂	0,04 10,48
H ₂ O	0,06 8,35
O ₂	0,134 7,4
C _p promedio	7,34274 cal/mol C
M2 (kg/h)	1610,773 cal/g mol C



Balance de Energia

$$m1H1 + m3H3 + Q = m2H2 + m4H4$$

$$m3 = m4 - m$$

$$m = \frac{m4H4 - m3H3 + Q}{H1 - H2}$$

$$H1 = \int_{T_0}^{T_1} Cp_1 dT = \int_{18}^{1000} 7,8 dT$$

$$H2 = \int_{T_0}^{T_2} Cp_2 dT = \int_{18}^{400} 7,3 dT$$

entalpias

agua de entrada	M3 (kg/h)	20
	T (°C)	20
	H3 (cal/kg)	84 kJ/kg
		20,04275 cal/g
		20042,75 cal/kg

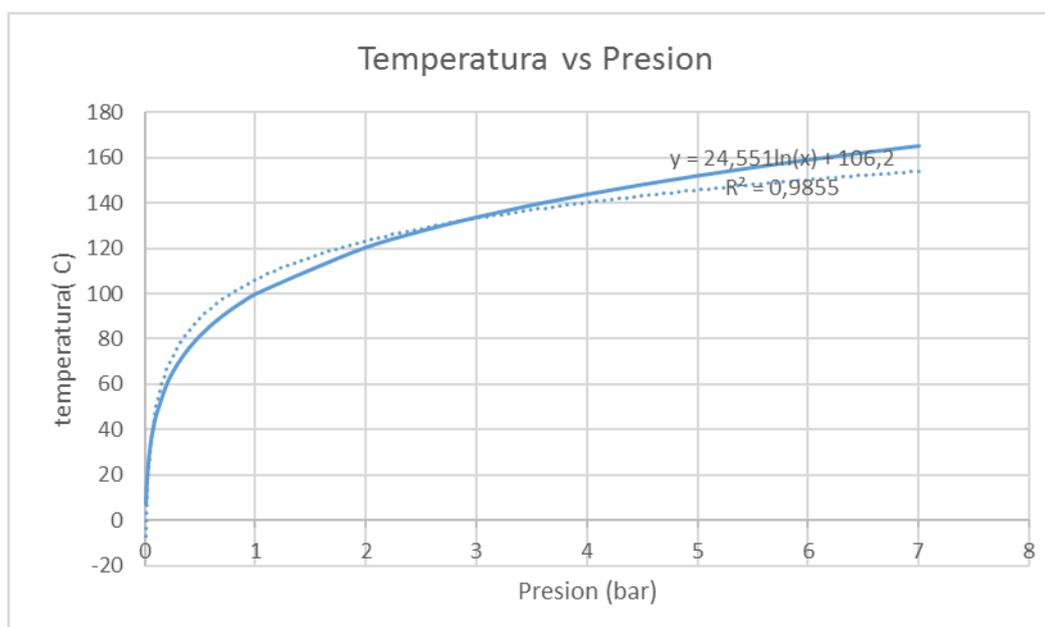
para poder calentar los 20 litros de agua y obtener el flujo necesario que mantenga mi presion constante necesitare los 1,61077 kg de combustible

T (°C)	N ₂	CO ₂	H ₂ O	O ₂
18	6,96	8,7	7,99	7
100	6,97	9,25	8,04	7,06
200	7	9,73	8,13	7,16
300	7,04	10,14	8,23	7,28
400	7,09	10,48	8,35	7,4
500	7,19	10,83	8,49	7,51
600	7,21	11,11	8,62	7,61
700	7,28	11,35	8,76	7,7
800	7,36	11,57	8,91	7,79
900	7,43	11,76	9,06	7,87
1000	7,5	11,94	9,2	7,94

Anexo J: Tabla de relación Temperatura vs Presión

bar	Psi	C
0,01	0,145037738	6,9696
0,015	0,217556607	13,019
0,02	0,290075476	17,495
0,025	0,362594345	21,077
0,03	0,435113214	24,079
0,035	0,507632083	26,672
0,04	0,580150952	28,96
0,045	0,652669821	31,012
0,05	0,72518869	32,874
0,055	0,797707559	34,581
0,06	0,870226428	36,159
0,065	0,942745297	37,627
0,07	1,015264166	39
0,075	1,087783035	40,29
0,08	1,160301904	41,509
0,085	1,232820773	42,663
0,09	1,305339642	43,761
0,095	1,377858511	44,807
0,1	1,45037738	45,806
0,2	2,90075476	60,058
0,3	4,35113214	69,095
0,4	5,80150952	75,857
0,5	7,2518869	81,317
0,6	8,70226428	85,926
0,7	10,15264166	89,932
0,8	11,60301904	93,486
0,9	13,05339642	96,687

1	14,5037738	99,606
1,5	21,7556607	110,35
2	29,0075476	120,21
2,5	36,2594345	127,41
3	43,5113214	133,52
3,5	50,7632083	138,86
4	58,0150952	143,61
4,5	65,2669821	147,9
5	72,518869	151,83
5,5	79,7707559	155,46
6	87,0226428	158,83
6,5	94,2745297	161,98
7	101,5264166	164,95





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MANUAL DE USUARIO

**AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA HIDRODESTILADORA PARA
LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO DE
CALIDAD**

AUTOR: WELINGTON JOSUE CAMPOS LANSINOT

Ibarra-2015

MANUAL DE USUARIO

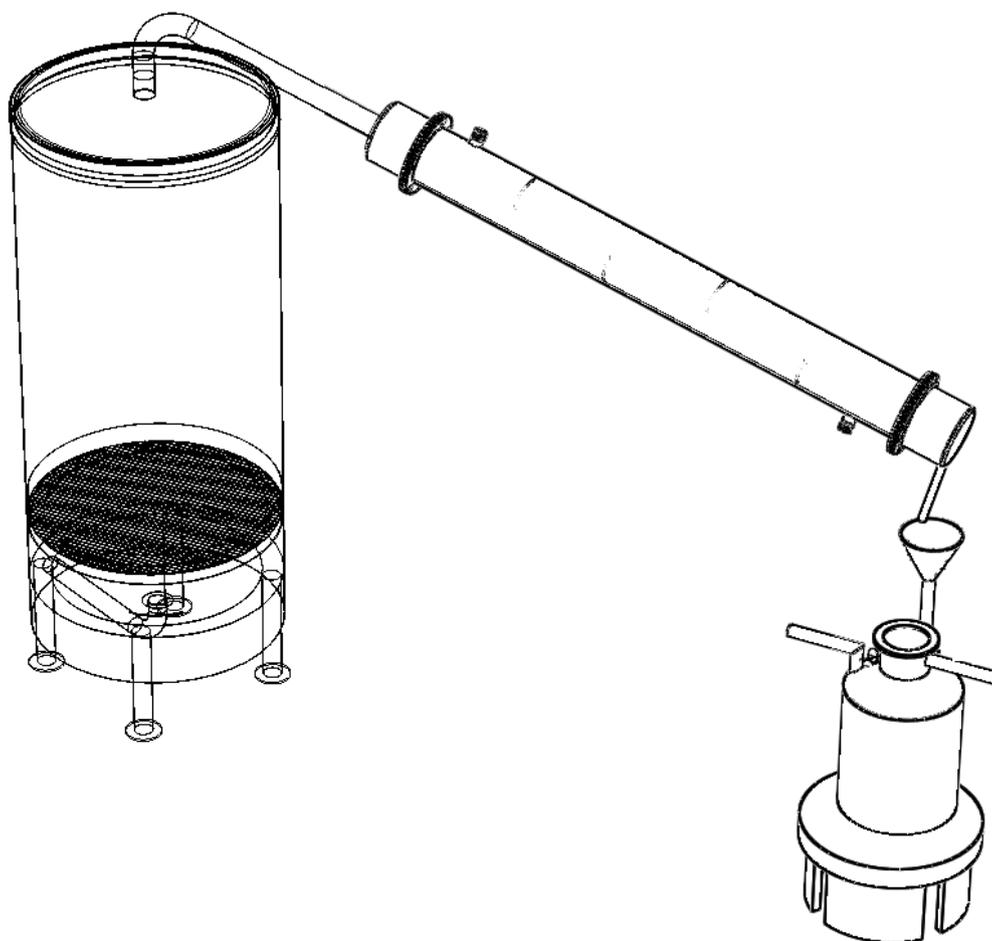
<u>1.1</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	3
<u>1.2</u>	<u>TABLERO DE CONTROL</u>	4
<u>1.2.1</u>	<u>VISTA FRONTAL</u>	4
<u>1.2.2</u>	<u>VISTA INTERIOR</u>	5
<u>1.3</u>	<u>PRECAUCIONES DE SEGURIDAD</u>	6
<u>1.3.1</u>	<u>PRECAUCIONES GENERALES DEL SISTEMA</u>	6
<u>1.4</u>	<u>PUESTA EN MARCHA</u>	9
<u>1.4.1</u>	<u>SELECCIÓN DE MODO DE FUNCIONAMIENTO</u>	9
	<u>1.4.1.1</u> <u> MODO MANUAL</u>	10
	<u>1.4.1.2</u> <u> MODO AUTOMÁTICO</u>	11
<u>1.4.2</u>	<u>PARO DE EMERGENCIA</u>	12
<u>1.5</u>	<u>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</u>	13
<u>1.5.1</u>	<u>MANTENIMIENTO DE LOS ACCESORIOS QUE SOPORTAN EL SISTEMA</u>	13
<u>1.5.2</u>	<u>MANTENIMIENTO DE LA ETAPA DE CONTROL</u>	14
<u>1.6</u>	<u>LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS</u>	14

1. MANUAL DE USUARIO

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente manual, tiene como objeto principal el proveer la suficiente información al usuario (operador) de la máquina, para poder manejarla con total seguridad, siguiendo cada uno de los pasos, sin obviar ninguno de ellos, siguiendo detenidamente cada instrucción dada.

El autor no se responsabiliza por inconvenientes y accidentes en caso de no seguir estrictamente este manual, por ello es muy importante que los operadores del sistema sean personal debidamente calificado.

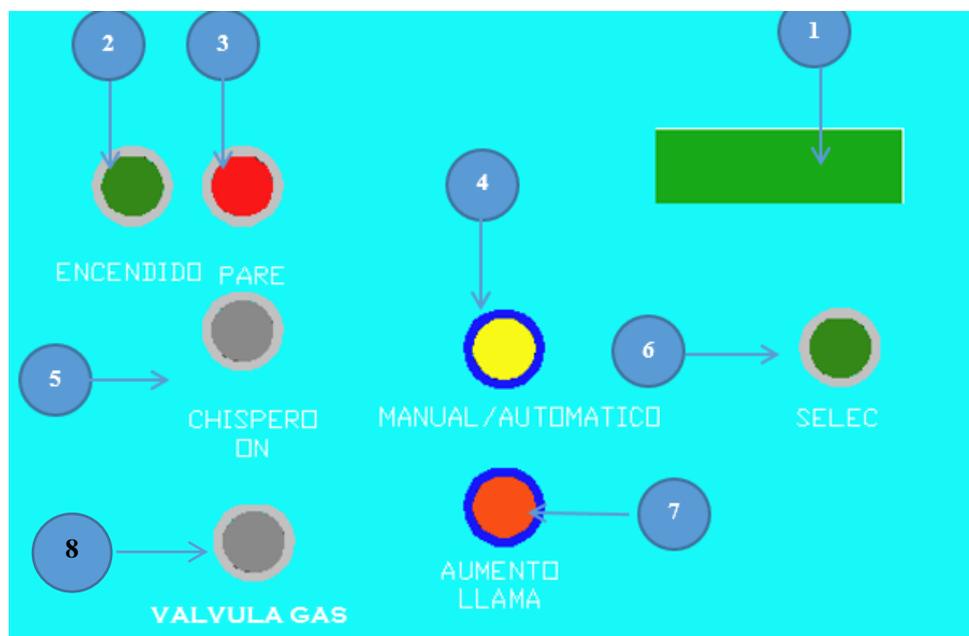


Importante: Instrucciones de Seguridad

Guarde con precaución las notas de este manual

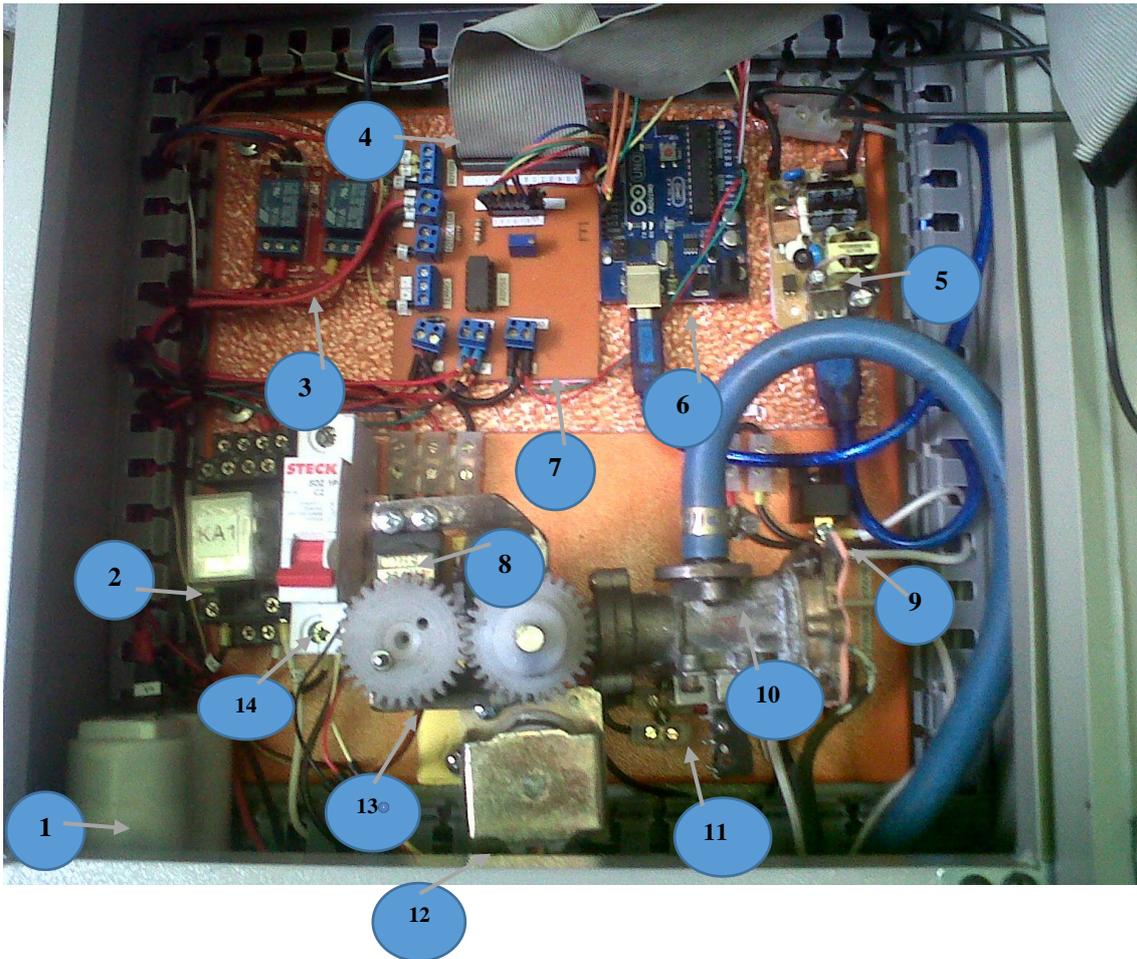
1.2 TABLERO DE CONTROL

1.2.1 VISTA FRONTAL



1	LCD 16x2 Se visualiza el proceso que está ejecutando el controlador como encendido de llama, temperatura y presión.
2	Botón ON GENERAL para el encendido general del sistema.
3	Botón tipo hongo actúa como PARO DE EMERGENCIA el cual detiene el proceso hasta que se lo vuelva a pulsar.
4	Perilla de selección de funcionamiento del sistema derecha Automático, izquierda Manual
5	Perilla de encendido de la chispa en modo manual
6	Botón de selección (ok) a mensajes que aparecen en la LCD
7	Perilla de regulación de llama
8	Perilla de encendido de válvula de gas en modo manual

1.2.2 VISTA INTERIOR



- 1 Baterías electroválvula
- 2 Contactor de electroválvula
- 3 Relés
- 4 Bus de datos LCD
- 5 Fuente principal
- 6 Placa Arduino
- 7 Placa de control
- 8 Servomotor
- 9 Block de neutros
- 10 Salida de gas
- 11 Block de línea de fase
- 12 Electroválvula de gas
- 13 Juego de engranes

1.3 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

 ADVERTENCIA 	PRECAUCIÓN
Advertencia: Indica posibles peligros y riesgos al operador en caso de omitir alguna señal.	Precaución: Indica posibles peligros y riesgos al maquina en caso de omitir alguna señal.

Nota



Una **Nota** indica información agregada que no se encuentra en textos anteriores y que pueden ser de ayuda

1.3.1 PRECAUCIONES GENERALES DEL SISTEMA

En este manual están las consideraciones más importantes de seguridad que se tomaron en cuenta para evitar posibles accidentes.

El operador (usuario de la maquina) será el responsable directo para evitar accidentes, tomando en cuenta las siguientes advertencias

 ADVERTENCIA	
	<p>PELIGRO DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES</p> <p>Para evitar un incendio o explosión:</p> <ul style="list-style-type: none"> ⚠ Utilice el equipo únicamente en áreas bien ventiladas. ⚠ Elimine toda fuente de ignición cercana a la hornilla, estas pueden ser como gasolina, madera, papel, plástico o cualquier elemento de fácil incineración. ⚠ El tanque de gas no debe de estar cerca a la llama. ⚠ Mantener la zona de trabajo despejada y la limpieza realizarla sin gasolina o algún compuesto químico de alta volatilidad. ⚠ No desconectar ni un solo cable si la maquina está encendida. ⚠ Utilice únicamente mangueras conectadas a tierra.
	<p>PELIGROS DEBIDO A LA MALA PRACTICA</p> <p>Malas hábitos puede causar daños irreversibles, y la mala utilización del equipo puede traer consecuencias graves.</p> <ul style="list-style-type: none"> ⚠ Al momento del paso de gas no estar operarios alrededor del tanque ⚠ No se puede fumar en toda el área del sistema del caldero

	<ul style="list-style-type: none">  No tapar cañerías ni nada por donde transite el gas  No tocar ni desconectar los mandos del tablero para su correcto accionar.  No abra la tapa del gabinete de control, podría alterar las conexiones establecidas.  No manipule los botones del tablero sin la respectiva información.  No utilice el paro de emergencia si no fuera estrictamente necesario.  No abrir la tapa del caldero cuando este se encuentra operando.  No desconecte el sistema directamente, puesto que causa des configuración del sistema.  No intervenga en el la perilla de la llama cuando está en modo automático, la suficiente fuerza puede quebrar la perilla.
	<p>PELIGROS DEBIDOS A LA UTILIZACIÓN INCORRECTA DEL EQUIPO</p> <p>El uso incorrecto puede causar la muerte o heridas graves.</p> <ul style="list-style-type: none">  Si se usa el modo manual no exceder la presión y temperatura recomendada para la extracción de aceite.  Leer con anterioridad las características técnicas de los elementos que constituyen la maquinaria a operar.  Revise el equipo a diario. Repare o cambie inmediatamente las piezas desgastadas o dañadas.  No altere ni modifique el equipo, sin consultar a un especialista con anterioridad.  La construcción de la maquina fue destinada con un propósito, usarla baja ese principio, si desea darle otro fin consulte con el fabricante.  Procurar tener curvas pronunciadas en las mangueras de destilación.  Respetar al pie de la letra este manual y las normas relativas a la seguridad.
	<p>NO TOCAR</p>

	<p>Mantener los cinco sentidos al momento de operar la máquina.</p> <ul style="list-style-type: none">  No tapar cañerías ni nada por donde transite el gas  No tocar ni desconectar los mandos del tablero para su correcto accionar.  No abra la tapa del gabinete de control, podría alterar las conexiones establecidas.  No manipule los botones del tablero sin la respectiva información.  No utilice el paro de emergencia si no fuera estrictamente necesario.  No abrir la tapa del caldero cuando este se encuentra operando.  No desconecte el sistema directamente, puesto que causa des configuración del sistema.  No intervenga en el la perilla de la llama cuando está en modo automático, la suficiente fuerza puede quebrar la perilla.
  	<p>EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL</p> <p>Disponer un buen equipo de protección cuando trabaje, o realice mantenimiento del área de trabajo donde esté operando el equipo, la construcción y automatización de este equipo provee de seguridad a operador en caso de provocar o de existir un incendio, o de posibles escapes de vapor de alta presión, mas no está por demás la utilización de protección extra para el operador como</p> <ul style="list-style-type: none">  Gafas de protección  Guantes, ropas protectoras y un respirador.  Protección auditiva

Nota

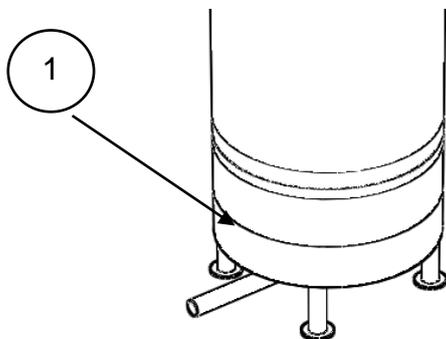


Las recomendaciones dadas se deben de tomar en cuenta en el mantenimiento del sistema.

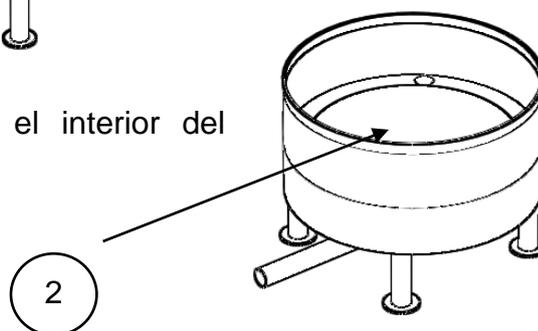
1.4 PUESTA EN MARCHA

Para empezar con el proceso en marcha será necesario tener previamente lista la carga del material, para ello:

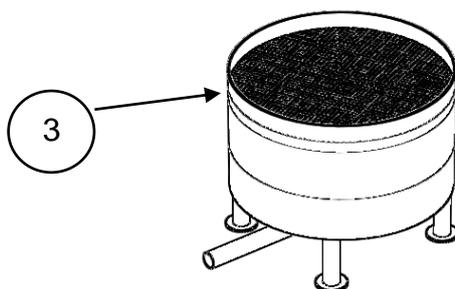
- 1 Cerrar la válvula de escape de agua.



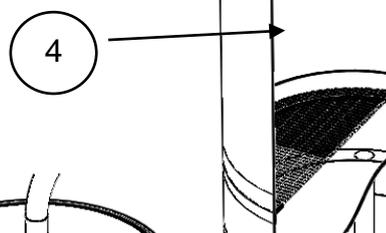
- 2 Colocar 20 litros de agua en el interior del caldero.



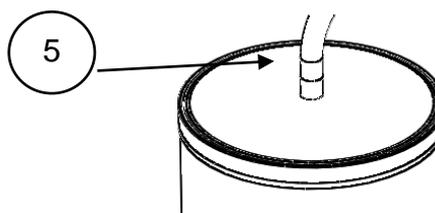
- 3 Colocar la rejilla.



- 4 Depositar e material vegetal a ser extraído su esencia.



- 5 Poner la tapa del caldero.



1.4.1 SELECCIÓN DE MODO DE FUNCIONAMIENTO

Para el encendido general del sistema será necesario:

- 1 Enchufar a la toma de corriente y dar paso al break general que se encuentra en el interior del tablero.



- 2 Cuando el sistema este encendido el botón verde del tablero de control tendrá una luz encendida, indicando que el tablero esta energizado.



- 3 Mover la perilla de selección para elegir el modo de funcionamiento, si se mueve hacia abajo el sistema funcionara en modo manual, lo que significa que el encendido y control de llama será vigilado y manipulado por el operario, si se mueve arriba, lo que dará paso a encender la LCD y se proveerá de instrucciones que más adelante detallaremos.



1.4.1.1 Modo manual

Si se ha seleccionado el modo manual los pasos a seguir son los siguientes:

- Girar la perilla de encendido de chispa que se encuentra ubicado debajo del botón tipo hongo que corresponde al paro de emergencia.



- Manipular la perilla de aumento de gas y dejarla abierta en un 40% , esta se encuentra debajo de la perilla de selección de modo de funcionamiento



- Girar la perilla que da paso al gas, esta se encuentra ubicada bajo la perilla del chispero



- Esperar un máximo de 2 segundos a la aparición de llama
- Apagar el chispero volviendo a apretar el botón del encendido del chispero
- Regular el flujo de llama al nivel deseado a partir de la perilla de aumento de llama.

1.4.1.2 Modo automático

Para las instrucciones de uso en el modo automático se debe seguir los siguientes pasos:

- Abrir el paso de gas general, este paso por seguridad se lo realiza de manera manual.
- En la pantalla de la LCD aparecerá un mensaje de bienvenida



- En la LCD aparecerá un mensaje preguntando si desea iniciar con el proceso de hidrodeshilación, para ello se deberá apretar el botón de selección (OK) caso contrario no se podrá seguir con el encendido del sistema



- En la LCD aparece un mensaje preguntando si desea encender el chispero, para aceptar dicho mensaje, se procede a apretar el botón de selec (ok).
- Una vez que hay chispa, en la LCD se pregunta si desea dar paso al flujo de gas, para ello se da paso apretando el botón selec.
- La perilla del gas se posicionara en modo de encendido, y espera hasta que haya llama.
- Cuando haya presencia de llama en la LCD aparece un mensaje que dice que desconecta el chispero.
- Enseguida en la LCD aparece la temperatura y presión interna del caldero, ajustando automáticamente el nivel de llama a través de la perilla de regulación.

1.4.2 PARO DE EMERGENCIA

Este botón normalmente cerrado detiene el proceso de funcionamiento hasta que se vuelve a accionar.



1.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Actividad para mantener en óptimas condiciones ya sea un producto, una máquina, un equipo, entre otros, y de esta manera asegurar su funcionamiento correcto. Permite practicar reparaciones necesarias si el caso amerita para que funciones normalmente. (definición abc).

Este tipo de mantenimiento puede ser de dos tipos: de control y de accesorios.

La etapa de mantenimiento de control se da a los elementos electrónicos, eléctricos, actuadores, etc., y la etapa de los accesorios lo que corresponde a los elementos que soportan el sistema.

⚠
ADVERTENCIA



Por lo general para liberar la presión de los calderines hay que abrir las válvulas de escape que puedan tener, en nuestro caso se puede hacer mediante este método, o a su vez esperar un aproximado de 30 min para poder destapar sin problemas

Nota  En el mantenimiento que corresponde al gabinete de control, debe ser realizado por un técnico calificado, para los demás equipos lo puede realizar el operador.

1.5.1 MANTENIMIENTO DE LOS ACCESORIOS QUE SOPORTAN EL SISTEMA

TIEMPO	ACTIVIDADES A REALIZAR
MENSUAL	1. Verificar las correctas uniones y conexiones
SEMESTRAL	1. Revisión de las soldaduras

	2. Verificación de las sujeciones
	3. Verificar que se estén en óptimas condiciones los materiales expuestos al contacto con el fuego

1.5.2 MANTENIMIENTO DE LA ETAPA DE CONTROL

TIEMPO	ACTIVIDADES A REALIZAR
MENSUAL	1. Verificar los mensajes de la pantalla de la LCD
	2. Verificar que las luces del tablero funcionen correctamente
	3. Verificar si los leds de las fuentes al interior del tablero se enciende.
SEMESTRAL	1. Comprobar el paso del gas
	2. Verificar continuidad dentro del gabinete
	3. Revisar la placa de control y potencia y sus elementos
	4. Revisar el cableado y las terminales de este

Nota  El mantenimiento de las etapas mencionadas se ajusta a las necesidades o requerimientos de los fabricantes, por lo tanto puede realizarse mensualmente y semestralmente tomando en cuenta las precauciones indicadas anteriormente.

1.6 LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS

Problema	Causa(s)	Solución(es)
Escapes de aire desde la manguera o la tapa del regulador	Membrana rota o dañada	Cambiar el diafragma
Caída de presión en el manómetro	Asiento de válvula en el regulador sucio o	Limpiar o reemplazar el asiento

	desgastado	de la válvula
Fuga de aire o de fluido en la junta de la tapa	Junta de la tapa defectuosa o tornillos de palometa	Reemplazar o apretar