



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA
ELECTRÓNICO DE MEDICIÓN Y CONTROL PARA
ADAPTARLO A UN PROCESO DE DESTILACIÓN**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**P R E S E N T A
FRANCISCO JAVIER DOMÍNGUEZ ROMERO**

**DIRECTOR DE TESIS:
M. EN I. EDGAR ALFREDO GONZÁLEZ GALINDO**



**CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO
DE MÉXICO, NOVIEMBRE, 2019**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS	6
AGRADECIMIENTOS.....	9
DEDICATORIA.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS PARTICULARES	15
JUSTIFICACIÓN.....	16
HIPÓTESIS.....	16
CAPÍTULO 1: PROCESOS DE SEPARACIÓN	17
1.1 GENERALIDADES SOBRE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN.....	19
1.1.1 MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR DIFUSIÓN.....	20
1.1.1.1 DESTILACION.....	20
1.1.1.2 DESHUMIDIFICACIÓN.....	23
1.1.1.3 ABSORCIÓN DE GASES	23
1.1.1.3 CRISTALIZACIÓN	23
1.1.1.4 SUBLIMACION	24
1.1.2 MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR MEDIOS MECÁNICOS	24
1.1.2.1 TAMIZADO	24
1.1.2.2 FILTRACIÓN	25
1.1.2. PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN POR GRAVEDAD	26
1.1.3 EXTRACCIÓN	27
1.1.2.2. EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO	30

1.1.2.3 EXTRACCIÓN DE SÓLIDO – LÍQUIDO.....	30
1.2 HISTORIA DE LA DESTILACIÓN	33
1.2.1 CONCEPTO DE EQUILIBRIO TÉRMICO	36
1.3 MÉTODOS DE DESTILACIÓN	39
1.3.1 DESTILACIÓN FLASH	39
1.3.2 DESTILACIÓN SIMPLE Y FRACCIONADA	40
1.3.3 DESTILACIÓN CON RECTIFICACIÓN.....	42
1.3.4. DESTILACIÓN AZEOTRÓPICA	42
1.3.5. DESTILACIÓN EXTRACTIVA	44
1.3.6. DESTILACIÓN REACTIVA	47
1.4 APLICACIONES INDUSTRIALES	49
1.5 APLICACIONES MAS RELEVANTES.....	49
1.5.1 HERBOLARIA	50
1.5.2 FARMACEUTICAS.....	53
1.5.3 ESENCIAS	54
1.5.4 ALIMENTOS.....	56
CAPÍTULO 2: TARJETA DE CONTROL Y SENSORES.....	57
2.1 TIPOS DE SENSORES de TEMPERATURA	57
2.1.1 TIPO DE TERMOPARES.....	60
2.1.2 SENSOR DE TEMPERATURA LM35.....	63
2.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20	66
2.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA TC74	68
2.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA TC1047.....	69
2.2 TIPOS DE BOMBAS DE AGUA	70
2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS.....	72
2.2.1.1 TIPOS DE BOMBAS SEGÚN SU FUENTE DE ALIMENTACIÓN	72

2.2.1.1 ELECTROBOMBAS.....	72
2.2.1.2 BOMBA PERIFÉRICA	73
2.2.1.3 BOMBA CENTRÍFUGA	73
2.2.1.4 MOTOBOMBAS	74
2.2.2 TIPOS DE BOMBAS DE AGUA SEGÚN SU USO.....	74
2.2.2.1 BOMBA DE AGUA SUMERGIBLE	75
2.2.2.2 BOMBA DE AGUA PARA TANQUE	76
2.2.2.3 BOMBA PRESURIZADORA DE AGUA BAJO TANQUE	76
2.3 PANTALLA LCD	77
2.4 TECLADO MATRICIAL	79
2.5 TRANSISTORES E INTERRUPTORES	81
2.6 TIPOS DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	89
2.6.1 FUENTE DE CD	91
2.6.2 PROCESO DE RECTIFICACIÓN	91
2.6.3 FILTROS RC (OTROS TIPOS DE FUENTE)	94
2.6.4 REGULADORES DE VOLTAJE LINEAL C.I.....	95
2.7 DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMÁTICO.....	97
2.7.1 DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMÁTICO PARA LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	99
2.7.2 DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMÁTICO PARA LA TARJETA DE CONTROL	103
2.8 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO	104
2.9 MONTAJE DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	107
CAPÍTULO 3: PROGRAMACIÓN EN TARJETA DE DESARROLLO	110
3.1 TIPO DE MICROCONTROLADORES	112
3.2 TIPOS DE TARJETAS DE DESARROLLO.....	112
3.2.1 ARDUINO	113

3.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PLACA DE DESARROLLO ARDUINO UNO-R3.....	113
3.2.1.2 CARACTERÍSTICAS PERIFÉRICAS	114
3.2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	115
3.2.1.3 ATMEGA16U2- MICROCONTROLADOR MU	115
3.2.2 LAUNCHPAD	117
3.2.3 RASPBERRY PI.....	119
3.2.5 TARJETA DE DESARROLLO STMICROELECTRONICS NUCLEO F401RE.....	123
3.3 PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA DE DESARROLLO	125
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE CARCASA EN IMPRESIÓN 3D	134
4.1 SOFTWARE DE DISEÑO.....	134
4.2 SOFTWARE DE IMPRESIÓN 3D	135
4.3 IMPRESORA USADA Y MATERIAL EMPLEADO.....	136
4.4 DISEÑO DEL CONTENEDOR Y PRODUCTO FINAL	138
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS.....	140
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.....	156
BIBLIOGRAFÍA	158
APÉNDICE 1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SOLVENTES.....	166
APÉNDICE 2 SOLVENTES COMÚNMENTE USADOS EN QUÍMICA ORGÁNICA	167
APÉNDICE 3. RIESGOS PARA LA SALUD DERIVADOS DEL USO, MANIPULACIÓN Y EXPOSICIÓN A LOS DISOLVENTES.....	169
APÉNDICE 4 TIPOS DE CONDENSADORES.....	178
APÉNDICE 5 TIPOS DE COLUMNA DE DESTILACIÓN EMPLEADAS EN EL LABORATORIO.....	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imán y brújula mostrando líneas de campo magnético (ShutterstockStudio, 2016).	17
Figura 2. Mantilla de calentamiento eléctrico (PCE Deutschland GmbH, s.f.)	22
Figura 3. Arreglo simplificado de un destilador simple (Flor-M & Col, 2016)	22
Figura 4. Representación del proceso de cristalización (El proceso de cristalización, 2018)	24
Figura 5. a) Diagrama interno de un tamizador industrial. b) Tamizador industrial real (UNITFINE Machinery Co., Ltd, 2019)	25
Figura 6. Conexiones de arreglo para filtrado al vacío (Bruzos & Bruzos, 2019)	26
Figura 7. Esquema de una cámara de sedimentación por gravedad (Silva Castro, 2019)	27
Figura 8. Proceso de extracción líquido – líquido (GUNT HAMBURG, 2019)	30
Figura 9. Pictograma representativo de un destilador (Ramirez, 2019)	33
Figura 10. a). Descripción verbal del proceso de destilación (Iberian Coppers S.A., 2019). b). Alambique Árabe antiguo (Pinterest, 2019)	34
Figura 11. “Das New Gross Distillier Buch”, de Ryff, Walther Hermann. (Jeff Weber Rare Books, 2019)	35
Figura 12. Cumulo de moléculas evaporándose de su sustancia madre (Feynman, 2007).	37
Figura 13. Representación de proceso de destilación flash (Wikipedia, 2019).	40
Figura 14. a) Sistema de destilación simple (Universidad de Sevilla, 2019) b) Sistema de destilación fraccionada (Universidad de Sevilla, 2019)	41
Figura 15. Esquema de destilación reactiva para la producción de acetato de etilo a escala laboratorio (Del Rio Segovia, 2016)	48
Figura 16. Proceso de destilación de Petróleo en una etapa (Mondragón Aguilar, 1994)	49
Figura 17. Mapa mental de las áreas de trabajo en los aceites esenciales (Rassem, Nour, & Yunus, 2016)	50
Figura 18. Aceites esenciales de origen vegetal en frascos para su almacenamiento (Alamy Ltd, 2019).	51
Figura 19. a) Micro centrifugadora vista panorámica (PCE Deutschland, 2019). b) Receptáculo para tubos de centrifugación (PCE Deutschland, 2019).	54
Figura 20. a) Extracto de semillas de manzana (<i>Malus domestica</i>) de uso como activo cosmético (Cosmotienda, 2019). b) Jabones artesanales de lavanda (Ecologiaverde, 2019).	55
Figura 21. a) Almidón de maíz comercial, aditivo alimenticio (El nogal, 2019). b) El Aceite Graso de Olivo Extra-Virgen, alto contenido de vitamina E (Cosmotienda, 2019)	56
Figura 22. a) Termopar mostrando su constitución interna (WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, 2019). b). Representación de medición de voltaje de salida de un termopar (Fundacion Wikipedia, Inc., 2019)	60
Figura 23. Modulo Max6675 con Termopar tipo ‘K’ (GEEKFACTORY, 2019)	63
Figura 24. Configuración de pines y empaques disponibles para el LM35 (Texas Instruments Incorporated, 2019)	64
Figura 25. Diagrama de bloques del LM35 Texas Instrument (Texas Instruments Incorporated, 2019)	65
Figura 26. Configuración de pines y empaque (Maxim Integrated Products, Inc., 2019)	66
Figura 27. Sensor de temperatura DS18B20 con encapsulado tipo sonda sumergible (AV Electronics, 2019)	67
Figura 28. Configuración de pines y empaques disponibles (Microchip Technology Inc, 2019), nota en el empaque TO – 220 el pin de tierra está conectado al disipador integrado	68
Figura 29. Representación del diagrama de bloques para el TC74 (Microchip Technology Inc, 2019)	69
Figura 30. Sensor de temperatura TC1047 con encapsulado tipo SOT-23B nota los pines son equivalentes al TO-236 (Microchip Technology Inc, 2019)	70
Figura 31. Bomba periférica con corte transversal (OPERADOR PETROLERO, 2019)	73
Figura 32. Bomba de agua caliente modelo Yosso Solar DC 12V (ShinyPiece, 2019)	75

Figura 33. Bomba presurizadora de agua, con sensor de caudal mínimo (Caymans SEO, 2019)	76
Figura 34. a) Pantalla LCD de 20 x 4 modelo tipo HD44780 de Hitachi b) Diagrama de bloques para la pantalla LCD (Hitachi, Ltd., 2019)	77
Figura 35. Configuración de pines para la pantalla LCD 20 x 4 (ElectronicWings, 2019)	78
Figura 36. Teclado de membrana de 4 x 4 (Arduino, 2019)	80
Figura 37. Módulo de Interfaz I2C para comunicar a él microcontrolador con el LCD (Geekbot Electronics, 2019)	81
Figura 38. Relevador de 12V D.C. Modelo SRD-12VCD-SL-C (Songle, 2019)	82
Figura 39. Transistor BC547C, componente electrónico TBJ de señal pequeña (Fairchild, 2019)	83
Figura 40. Sección de las características eléctricas de la hoja de datos para el BC547C (Fairchild, 2019)	86
Figura 41. Curva característica de la respuesta del transistor (Fairchild, 2019)	86
Figura 42. Representación del Sistema Eléctrico Nacional de México, el órgano encargado de regularlo es el CENACE (Gobierno de México, 2019)	89
Figura 43. Distribución de los 4 sectores del Sistema Eléctrico Nacional de México (Gobierno de México, 2019)	90
Figura 44. Distribución de las 3 primeras secciones y de menor cobertura (longitud) (Gobierno de México, 2019)	90
Figura 45. El cuarto sector cubre la mayor cobertura y es conocido como el sistema interconectado nacional, es dentro esta región donde se desarrollo el prototipo (Gobierno de México, 2019)	90
Figura 46. Corte longitudinal de una batería de Zinc Carbono (University of Cambridge, 2019)	91
Figura 47. Visualización de rectificador de onda completa conectado a una carga (electronika2, 2019)	92
Figura 48. Configuración Básica de rectificador con capacitor de filtrado (Tutoriales de electronica basica , 2019)	94
Figura 49. Diferentes Circuitos Integrados Reguladores de voltaje de potencia media (Fundacion Wikipedia, Inc., 2019)	96
Figura 50. Configuración de pines para los C.I. 78LXX y 79LXX reguladores de voltaje lineal positivo y negativo respectivamente (GES-ELECTRONICS, a.s., 2019).	97
Figura 51. Resistencia de inmersión construcción interna (BrotoTermic, 2014)	100
Figura 52. Diseño de circuito esquemático para la alimentación en EASYEDA	103
Figura 53. Disposición de componentes para el circuito de alimentación en EASYEDA	103
Figura 54. Diseño de circuito esquemático en EASYEDA para la tarjeta de control	104
Figura 55. Disposición de componentes circuito esquemático en EASYEDA para la tarjeta de control	104
Figura 56. Circuito PCB de la fuente de alimentación para el sistema de destilación (a) Parte superior de la cara. (b) Parte inferior de la cara.	105
Figura 57. Circuito PCB de la etapa de control de la temperatura y la bomba (a) Parte superior de la cara. (b) Parte inferior de la cara.	106
Figura 58. Circuito PCB de la fuente de alimentación para el sistema con los componentes montados (a) Parte del circuito con disipador termico para los C.I. (b) Circuito sin disipador termico para los C.I.	107
Figura 59. Ventilador de 12V D.C de formato rectangular con cuerpo y aspas plásticas	108
Figura 60. Circuito PCB de la etapa de control de la temperatura y la electróbomba	108
Figura 61. Circuito PCB de la etapa de control de la temperatura y electróbomba (a) Parte superior de la cara con los componentes montados. (b) Parte superior montada en la placa de desarrollo.	109
Figura 62. Tarjeta de desarrollo Arduino Uno R3	113
Figura 63. a) Tarjeta de desarrollo Launch Pad Tiva C Series vista superior. b) Tarjeta de desarrollo Launch Pad Tiva C Series vista inferior.	118

Figura 64. a) Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B V1.2 vista superior. b) Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B V1.2 vista inferior.	120
Figura 65. a) Tarjeta de desarrollo nucleo-f401re vista superior. b) Tarjeta de nucleo-f401re vista inferior.	124
Figura 66. Tarjetas de circuito impreso (a) Tarjetas con componentes montados (b) Interior de la carcasa 3D y disposición de los componentes.	138
Figura 67. Impresión 3D de la carcasa (a) Encendido del dispositivo (b). Pantalla LC con bombeo	139
Figura 68. Diagrama de flujo para la extracción de un aceite esencial (United Nations Industrial Development Organization, 1995)	141
Figura 69. Propiedades físicas y aplicaciones biológicas de algunos compuestos de aceites esenciales (Rassem, Nour, & Yunus, 2016)	142
Figura 70. Mortero de cerámica, para reducir un sólido a partículas más pequeñas	143
Figura 71. Proceso simplificado para la extracción de aceites esenciales	144
Figura 72. Proceso de extracción por reflujo continuo	144
Figura 73. a) Condensador tipo Graham. (CTechGlass, 2019). b) Adaptador para destilación de tres vías (CTechGlass, 2019)	145
Figura 74. a) Columna para destilación Vigreux (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019). b) Adaptador para termómetro (CTechGlass, 2019).	146
Figura 75. a) Adaptador de recolección (Sevmexico, 2019) b) Matraz de fondo redondo de 2 cuellos (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019)	147
Figura 76. a) Matraz de fondo redondo de 3 cuellos (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019) b) Embudo de adición (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019)	147
Figura 77. Representación grafica del sistema para extraer aceites esenciales	148
Figura 78. Arreglo experimental empleado para la extracción de aceite esencial	149
Figura 79. Diagrama de flujo simplificado para la obtención de aceites esenciales	150
Figura 80. Termometro de mercurio frente al calderin	151
Figura 81. a) Sistema de destilacion mostrando matraz empañado. b) Sistema de destilacion mostrando matraz con las paredes internas obstaculizando la vista	152
Figura 82. a)Seccion principal de contacto entre en condensador y en vapor enriquecido. b) Seccion del condensador tipo Graham condensando vapor	153
Figura 83. Compuestos extraidos de Canela	155
Figura 84. Condensador tipo Liebig. (Eni Generalic, 2019)	178
Figura 85. a) Condensador tipo Graham. (CTechGlass, 2019) b) Condensador tipo Allihn (Eni Generalic, 2019)	178
Figura 86. a) Condensador tipo Dimroth. (CTechGlass, 2019) b) Condensador tipo Friedrichs. (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019)	179
Figura 87. Columna para destilación simple (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019).	180
Figura 88. a) Columna para destilación simple con enchaquetado al alto vacio. (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019). b) Columna para destilación simple con enchaquetado. (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019)	180
Figura 89. a) Columna para destilación tipo Snyder. (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019). b) Columna para destilación tipo Vigreux. (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019)	181

AGRADECIMIENTOS

En este momento les expreso la inmensa gratitud y reconocimiento que tengo a mi familia y amigos que han hecho posible que el día de hoy yo pueda concluir mis estudios de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica Electrónica, además de siempre educarme, guiarme y dirigirme para ser el mejor.

A mis padres, gracias por darme vida y por hacer todo lo posible por cuidar de ella, siempre les deberé todo lo que yo pueda llegar a tener o a soñar. Quisiera que estuvieran conmigo por siempre, pero al no ser posible permítanme disfrutarlos al máximo todo el tiempo que resta.

A mi padre **José Javier Domínguez Domínguez** por mostrarme sus pasos, para conocer el camino que debo andar y a través de él ser una mejor persona, humano, cada día sin tus enseñanzas esto no hubiera sido posible; jamás estoy solo siempre estás aquí, en mi mente y corazón.

A mi madre **Julieta Romero Fonseca** que siempre será el mejor regalo que jamás pedí, y aun así sin merecerlo me fue concedido, por siempre estar a mi lado en mis momentos más difíciles y ayudarme a pasar por ellos, por darme humildad, agradecimiento y por enseñarme a apreciar los sentimientos humanos.

A mi amigo y profesor **M. en I. Edgar Alfredo Gonzales Galindo**, por demostrar que las buenas personas existen, no es posible expresar mi agradecimiento hacia usted con palabras, eres un ejemplo de virtud dentro de mi vida y tratare de seguir sus enseñanzas hasta mi muerte, gracias por todo maestro mis logros futuros serán también suyos.

A uno mis profesores más distinguidos **Ing. Benito Zúñiga Villegas** por ser una guía dentro de la facultad y en la vida, por ayudarme a desarrollarme profesionalmente y a reconocer el mundo que me rodea.

A la **Facultad de Estudios Superiores Aragón** de la **Universidad Nacional Autónoma de México** por permitirme la oportunidad de probarme a mí mismo al estar en sus aulas, y concederme una educación de máxima calidad para poder competir a nivel mundial y representar a mi país México como un punto de origen en el desarrollo tecnológico e innovación, siempre será una facultad bondadosa en mis recuerdos y estarán conmigo todos ustedes impulsando mi futuro.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi país, su población, a mis profesores y a cada uno de sus ingenieros, que todos los días hacen un esfuerzo incalculable por tratar de predecir y controlar el comportamiento de los sistemas industriales altamente complejos, para poder permitir que se sustente el estado de vida actual al que llamamos evolucionado, me encuentro en el proceso de seguir sus pasos para aportar mi contribución dentro del desarrollo tecnológico de mi país aquí les dedico mi trabajo, esperando que les sea satisfactorio el invertir su tiempo en leerlo.

INTRODUCCIÓN.

En este trabajo se encuentra una descripción detallada del diseño y desarrollo de un sistema electrónico de medición y control capaz de adaptarse a un proceso de destilación; el sistema completo tiene por objetivo separar una mezcla de compuestos en fase líquida a través de sus diferentes propiedades físicas y químicas, para lograr con esto ayudar al operador del equipo a obtener una destilación de mejor calidad que con otros instrumentos de medición ya sean analógicos o digitales que se utilizan dentro de este mismo tipo de sistemas, además de ser un sistema electrónico de calidad es multifuncional (múltiple entrada múltiple salida) y portátil; dentro del desarrollo de esta aplicación práctica se encuentra la implementación de tecnologías de vanguardia como lo son el uso de software y hardware de uso público y privado, nacional y extranjero para competir con los diseños existentes en el mercado y poder ser una competencia nacional en el ramo de la química de laboratorio y de desarrollo de tecnología en general.

En el texto se iniciara con una descripción de los procesos de transferencia de materia, después se analizará los métodos de separación y purificación de sustancias más ampliamente extendidos en la industria, para así dirigirse a un método de separación específico que es la destilación, se analizara los orígenes históricos de este proceso tan antiguo y tan ampliamente utilizado por todo el mundo antiguo, que tiene por objetivo la separación de una mezcla líquida, dando así un panorama general de cómo es el proceso donde se desea adaptar el sistema electrónico para facilitar las conclusiones de diseño que se darán en el Capítulo 2.

En este sistema electrónico se contemplan una gran variedad de subsistemas capaces de funcionar en conjunto dentro de procesos complicados como son: la conversión de energía eléctrica de A.C. a D.C, lectura y escritura de comandos introducidos por el operador para poder modificar el comportamiento del sistema electrónico, además de dotar al operador con la capacidad de controlar diferentes variables dentro del proceso, estas son algunas de las tareas específicas que desempeñara el sistema; conoceremos cuales son los principales puertos para adquirir datos a través de una tarjeta de desarrollo y a como seleccionar los

dispositivos que permitan dar un mejor funcionamiento al sistema total, por otra parte se verán las diferencias entre la amplia variedad de dispositivos capaces de adquirir la temperatura de los distintos medios que se requiere de una manera segura para poder dar una lectura correcta de las variables de interés sin preocuparnos por la integridad del equipo.

El diseño del programa está basado en el entorno de desarrollo integrado (*IDE* por sus siglas en inglés) de Arduino, con todas las funciones y bibliotecas que permiten utilizar diferentes tipos de protocolos de comunicaciones entre un microcontrolador y los dispositivos periféricos para poder usar una pantalla de cristal líquido (*LCD* por sus siglas en inglés) y un teclado matricial, así como múltiples controladores comerciales (*Drivers*) para poder implementar sensores capaces de someterse a las necesidades que tenemos.

El análisis fundamental del Capítulo 2 se centrará en la discusión de las variedades de sensores de temperatura disponibles comercialmente, haciendo énfasis en la elección o declinación en el uso de algún dispositivo basándonos en sus hojas de datos proporcionadas por el fabricante así como en sus propiedades constitutivas como lo son tecnología empleada para su construcción además de aspectos físicos como su empaque (construcción robusta); Continuaremos con la introducción de nuestra primera carga principal en el diseño electrónico, la electrobomba de agua que controlara el flujo de agua a través del condensador, discutiremos los tipos de bombas disponibles en el mercado y su clasificación para poder elegir la que nos brinde las mejores prestaciones dentro de nuestra aplicación específica. Seguiremos con el análisis de los dispositivos periféricos que permiten la interacción con el operador que son respectivamente: la pantalla *LCD* y el teclado matricial, como se verá en el desarrollo medular del Capítulo 2; esta interacción entre el operador y el dispositivo electrónico será el evento que accione los cambios de estado de la conmutación interna del equipo para energizar a las cargas. En la parte final del Capítulo 2 expondremos a las fuentes de alimentación eléctrica, debido a que nuestro sistema no será diseñado para hacer uso de fuentes como baterías externas, sino que requerirá el acceso a una toma de corriente de baja tensión *127 Volt A.C.* para alimentar a la tarjeta que se implementará como fuente de energía eléctrica, esto es debido a que el equipo preferentemente deberá ser empleado en una zona controlada para poder realizar la técnica con seguridad, además de favorecer el obtener un

producto final de calidad. Concluimos el Capítulo 2 con el procedimiento de diseño del circuito esquemático una vez que hemos elegido a cada uno de nuestros componentes eléctrico-electrónicos para así llevar este diseño a una placa de circuito impreso donde los componentes podrán ser montados de una manera eficiente y segura. En el Capítulo 3 abordaremos los temas relacionados con la programación de la tarjeta de desarrollo. A continuación, se verá que algunas tarjetas de desarrollo están basadas en circuitos integrados y microcontroladores, es por esto por lo que se analiza algunas tarjetas de desarrollo con gran aceptación entre los desarrolladores para así poder dar una perspectiva del por qué usar la tarjeta de desarrollo que elegimos, así como el análisis detallado del programa del sistema. En el Capítulo 4 mostraremos un procedimiento para realizar el diseño de una carcasa (case) personalizada en impresión *3D*, se expondrá el software de diseño y de impresión *3D*, se describirá el material usado y la impresora con la que se elaboró esta carcasa, así como el contenedor final con los componentes debidamente colocados.

Continuamos en el Capítulo 5 con una exposición de análisis de datos y resultados de la obra recopilados a través de los diferentes arreglos experimentales que fueron necesarios antes de alcanzar el diseño expuesto aquí ya que como podrá percibir en la obra, el llevar a cabo una solución práctica a veces no es una tarea fácil de emprender, aunque muy satisfactoria. Al final del texto en el Capítulo 6 se habla acerca de las conclusiones que se obtuvieron dentro del desarrollo de esta aplicación práctica, abarcando desde los recursos de programación hasta las medidas de seguridad para poder implementar una aplicación práctica exitosa.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y desarrollar un sistema electrónico de medición y control adaptable a los procesos de destilación que permita obtener un proceso de mayor eficiencia y con esto reducir el consumo de energía eléctrica.

OBJETIVOS PARTICULARES

Permitir que la química moderna pueda ser apoyada por el área de Ingeniería Eléctrica-Electrónica, siendo esta última un enlace clave entre las variables físicas y químicas de la naturaleza. Permitiendo un mayor uso de las tecnologías de vanguardia dentro de los diferentes procesos de interés para el avance de la ciencia y la sociedad.

Crear dispositivos que permitan eliminar o reducir las tareas repetitivas y el tiempo empleado dentro de algunos procesos industriales.

Reducir la carga laboral de los operadores de sistemas electrónicos industriales altamente complejos.

Promover la instrumentalización de procesos químicos que permitan obtener sustancias de alta calidad para su aprovechamiento futuro.

Diseñar sistemas electrónicos que permitan la recuperación de solventes orgánicos e inorgánicos, debido a que es más costoso producir los solventes por primera vez, que utilizar un sistema de destilación que permita la recuperación de estos solventes y reutilizarlos por varias ocasiones.

JUSTIFICACIÓN

Se decidió desarrollar un sistema electrónico de medición y control para adaptarse a este tipo de procesos y dar una opción nacional de este producto para el mercado mexicano, permitiendo con esto lograr que los consumidores de tecnología nacional, laboratorios de universidades e industriales puedan acceder a un sistema electrónico de este tipo teniendo confianza en su eficiencia, para el proceso de la producción en la destilación.

HIPÓTESIS

Con la implementación de un sistema capaz de medir y controlar la temperatura y flujo de agua dentro de un proceso de destilación, si se implementa el sistema electrónico para monitorear la temperatura y el flujo del agua circulante en el condensador del proceso de destilación, entonces se podrán favorecer las condiciones necesarias para la condensación del vapor enriquecido y con esto obtener un mayor grado de concentración o pureza del líquido condensado, permitiendo que no sea necesario someter a la sustancia de interés en repetidas ocasiones en este procedimiento y con esto reducir el tiempo de uso del sistema para obtener sustancias con la concentración deseada reduciendo así el consumo de energía eléctrica.

CAPÍTULO 1: PROCESOS DE SEPARACIÓN

Como se mencionó en la Introducción, acerca de los diversos procesos a los que puede someterse a una sustancia para separar los componentes que la constituyen y así poderlos purificar a través de algún procedimiento, como la destilación y con esto obtener sustancias más puras que permitan un mayor aprovechamiento de sus propiedades, en este capítulo abordaremos métodos, técnicas y procesos de extracción de materia y su transferencia hacia otras sustancias.

Desde la antigüedad el hombre se ha visto maravillado con las reacciones físicas y químicas que puede sufrir la materia, por ejemplo, al interactuar compuestos entre sí o al reaccionar con de las propiedades que estos podrían presentar, como lo son la atracción de una partícula ferromagnética a la magnetita o la combustión de material orgánico, un árbol por ejemplo, con las condiciones de oxígeno necesarias para poder hacer combustión(GIANCOLI, 2006).



Figura 1. Imán y brújula mostrando líneas de campo magnético (ShutterstockStudio, 2016).

Aunque este no es el único interés que hemos tenido como especie. En nuestra búsqueda de conocimiento también hemos llegado a la interrogante de cómo separar una disolución acuosa, la cual se puede definir como “una mezcla homogénea de dos o más sustancias, el soluto es la sustancia presente en menor cantidad, y el disolvente es la sustancia que está en mayor cantidad. Una disolución puede ser gaseosa como el aire, sólida como una aleación metálica o líquida como el agua de mar” en sus componentes (Chang, 2010).

En este Capítulo se explorarán varios métodos de separación y purificación de materia, un método muy utilizado es la destilación que se utiliza para separar y purificar una mezcla líquida de una sustancia, supongamos por el momento binaria es decir compuesta por dos componentes únicamente A y B, en sus fracciones individuales, teniendo en cuenta que cada una de estas fracciones no serán igual de volátiles y sus presiones de vapor tampoco lo serán, como se demostrará en breve en este capítulo, y dependiendo de la presión o vacío en algunos casos a la que está sometido este proceso (Flor-M & Col, 2016).

Cuando el hombre comenzó a verse fascinado por este tipo de sucesos, trato de explicarlos de una manera muy somera, proporcionando poderes místicos a reacciones que se efectuaban en la naturaleza, estos sucesos frecuentemente, considerando la esperanza de vida promedio de esa época, se hallaban fuera de su conocimiento cotidiano (es decir adquirido a lo largo de la vida por sucesos comunes no científicos) o con la participación accidental de algún ser vivo como el humano como catalizador de estos sucesos, creando así dioses o seres superiores a los que atribuían estos efectos físicos o químicos de interés personal.

A través del tiempo se le fue dando un cierto misticismo a los personajes que se adentraron más en estos intentos por adquirir conocimiento sobre los cambios que sufre la materia bajo ciertas condiciones, además de tratar de hallar algún tipo de explicación de aquellas reacciones.

Estos personajes datan de todo tipo de región y desde varios siglos A.C. Es común encontrar historias de farmacéuticos, médicos y religiosos que adoptaron una vida llena de ocultismo para acreditar merecer algún tipo de beneficio económico o social, aunque usualmente eran simples charlatanes (Volak & Stodola, 2013).

El hábito o influencia por continuar estudiando estos sucesos continuaron hasta la edad media donde el uso de aparatos de destilación ya era conocido en algunas regiones. Con el paso del tiempo se les confirió el nombre de alquimistas, estos de una manera empírica, es decir a través de la simulación de experimentos mezclando sustancias y sometiéndolas a diferentes tipos de excitación como lo son las altas temperaturas o la simple acción del aire, creían ser capaces de transformar la materia, o por lo menos hacerla cambiar a placer (Chang, 2010).

La continua evolución y perfeccionamiento de estos complejos procesos se transformaron en las ciencias modernas de la Química y farmacéutica; y en estas ciencias se encuentra el objeto de interés que es la electroquímica, termoquímica y las reacciones en disoluciones, el principal objetivo de este capítulo será el dar un panorama acerca de los procesos de transferencia de materia y del proceso de destilación para así saber cómo es que funciona este procedimiento y saber cuáles son las variables de interés, determinando la información que puede servir para el desarrollo de nuestro sistema electrónico para controlar la temperatura y el flujo de agua, además de ser capaces de adquirir la información del sistema de control de una manera fácil de interpretar para el usuario y así haciendo uso de su conocimiento, ser capaz de decidir si la temperatura de la mantilla de calentamiento es la correcta o en la cabeza de destilación la temperatura del vapor es la adecuada y poder así tomar la decisión de qué temperatura debería de tener el refrigerante que se hará circular por el condensador y permitir que se favorezca la condensación del componente más volátil que se encontraba en la sustancia en fase líquida original, produciendo así el componente de interés para nosotros (Volak & Stodola, 2013).

1.1 GENERALIDADES SOBRE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN

En la introducción del capítulo ya hemos dicho que existen diferentes procedimientos para la transferencia de masa, en las siguientes secciones explicaremos las bases teóricas de los procesos de separación y técnicas de purificación, pues son estos métodos los principales medios para transferir materia de una sustancia a otra sin importar sus fases; ya que nuestro circuito electrónico estará intencionado para implementarse dentro de una técnica de purificación será conveniente que el lector cuente con una fuente de información directa, aunque el texto este dirigido al diseño de un sistema eléctrico - electrónico de control.

Frecuentemente en la industria y en el laboratorio es necesario separar los componentes de una mezcla en partes individuales de algún componente deseado, como podría ser un aceite esencial o el aroma de una planta (Chevallier, 1997). Las partes pueden diferenciarse entre sí por el tamaño de las partículas, por su estado, o por su composición química; por ejemplo,

un producto bruto de origen animal o vegetal puede purificarse por eliminación de las impurezas que lo contaminan, una mezcla de dos o más componentes, pueden separarse en los componentes puros individuales, la corriente que sale de un proceso puede constar de una mezcla del producto y de material no convertido, cuando es posible se debe de separar y recircular la parte no convertida a la zona de reacción para convertirla; En algunos casos una sustancia valiosa, como podría ser un material metálico, disperso en un material inerte, puede someterse a estos procesos, cuando son posibles los procedimientos o viables económicamente el separarlos con el objetivo de obtener al material de interés y desechar el material inerte o tratar los residuos de la manera adecuada, lo más común es que realice su separación para darle un uso comercial de alto valor al producto final. Se han desarrollado un gran número de métodos para realizar tales separaciones, algunas operaciones básicas principales dentro del laboratorio y la industria nacional se dedican a ello y se discutirá al final del Capítulo 1 (Química orgánica : experimentos con un enfoque ecológico, 2009).

1.1.1 MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR DIFUSIÓN

Este es el grupo de operaciones para la separación de los componentes de mezclas, se basan en la transferencia de material desde una fase homogénea a otra y requieren de las diferencias de presión de vapor o de solubilidad para poder realizarse, estas son propiedades que generan la transferencia de materiales en el sistema con diferencia o gradiente de concentración entre las diferentes fases que usualmente componen al arreglo, por ejemplo lo son liquido-liquido o liquido-sólido, de la misma forma que una diferencia o un gradiente de temperatura, constituye la fuerza impulsora de la transferencia de calor (Flor-M & Col, 2016).

1.1.1.1 DESTILACION

Es la técnica de mayor importancia para este trabajo, es la implementación de un sistema electrónico, que será diseñado en el Laboratorio de Medición Instrumentación y Control para implementarse en el arreglo experimental para llevar a cabo la técnica de destilación. La técnica de destilación o de separación fue nombrada “destillare” por la palabra del latín que significa “*Goteo hacia abajo*” (Stichlmair & Fair, 1998) y en este trabajo utilizaremos sinónimos como método y procedimiento para referirnos a la palabra técnica (Real Academia

Española, 2019) indistintamente, este proviene del griego “τέχνη” y se refiere a la *destreza o habilidad* para realizar algún trabajo (ECYT-AR, 2019).

El objetivo de la destilación es separar, mediante vaporización, una mezcla líquida de sustancias miscibles y volátiles en sus componentes individuales, o en algunos casos en un grupo de componentes de interés. Esta técnica de separación es comúnmente utilizada en la industria de procesos químicos, con esta técnica se realizan del 90 al 95% de las separaciones en la industria, tal como, la separación del crudo de petróleo en gasolinas, kerosene, Diesel, entre otros (Wankat, 2009). Entre más lejanas sean las temperaturas de ebullición de los componentes (reactivos) que forman la mezcla líquida a separar, será más sencillo seleccionar la técnica de destilación (Química orgánica : experimentos con un enfoque ecológico, 2009). Las técnicas a las que hacemos referencia se explicaran en el siguiente subcapítulo “*Métodos de destilación*”.

La destilación se puede realizar en la práctica siguiendo dos métodos fundamentales. El primero de ellos se basa en la producción de vapor mediante la ebullición de la mezcla líquida que se desea separar, procediendo posteriormente a la condensación del vapor sin que nada de líquido retorne al calderín colocado sobre la mantilla calefactora, normalmente es un matraz bola, y se ponga en contacto con el vapor. El segundo método se basa en el retorno de parte del condensado al destilador, en condiciones tales que el líquido que desciende se pone en íntimo contacto con el vapor que va hacia el condensador. Cualquiera de los dos métodos anteriormente mencionados se puede llevar a cabo ya sea de manera continua o discontinua indistintamente.



Figura 2. Mantilla de calentamiento eléctrico (PCE Deutschland GmbH, s.f.)

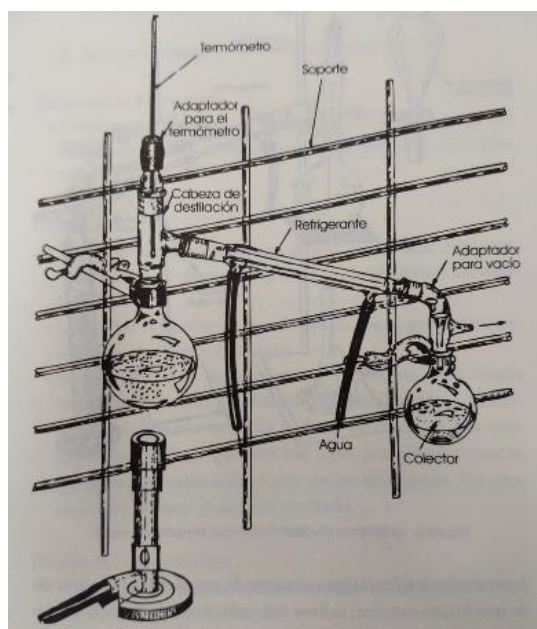


Figura 3. Arreglo simplificado de un destilador simple (Flor-M & Col, 2016)

En la Figura 2 ilustramos un dispositivo de calentamiento que consume energía eléctrica, al que nos referiremos con el nombre de mantilla de calentamiento eléctrico y en la Figura 3 se muestra un arreglo simplificado donde el aparato de calentamiento es un mechero, que podía ser alimentado con algún combustible como el petróleo o alcohol para producir su energía al quemarlo, produciendo gases producto de su combustión, esto es una referencia de como los dispositivos electrónicos han desplazado a los dispositivos que producen gases nocivos u irritantes y que serán expuestos al operador en el periodo de tiempo que se realice el procedimiento de separación.

1.1.1.2 DESHUMIDIFICACIÓN

La fase líquida es una sustancia pura que está constituida por el componente que se separa de la corriente gaseosa, esto significa que el disolvente y el soluto son la misma sustancia. Con frecuencia el gas inerte o vapor es prácticamente insoluble en el líquido. La separación de vapor de agua del aire por condensación sobre una superficie fría, y la condensación de un vapor orgánico, tal como el tetracloruro de carbono, contenido en una corriente de nitrógeno, son ejemplos de deshumidificación. En las operaciones de deshumidificación el sentido de la transferencia es desde la fase gaseosa al líquido y se entiende como un caso particular de absorción de gases (Facultad de Química UNAM, 2008).

1.1.1.3 ABSORCIÓN DE GASES

La absorción de gases es una operación unitaria en la cual una mezcla gaseosa se pone en contacto con un líquido, a fin de disolver uno o más componentes del gas y de obtener una solución de estos en el líquido.

1.1.1.3 CRISTALIZACIÓN

La cristalización es una operación unitaria utilizada para la purificación de compuestos sólidos que requieren una alta pureza y buena apariencia de consistencia sólida.

El número de etapas que requerirá un producto sólido para su purificación está en función directa de sus puntos de fusión, ya que, por lo general, toda impureza causa un descenso en esta propiedad física (Flor-M & Col, 2016).

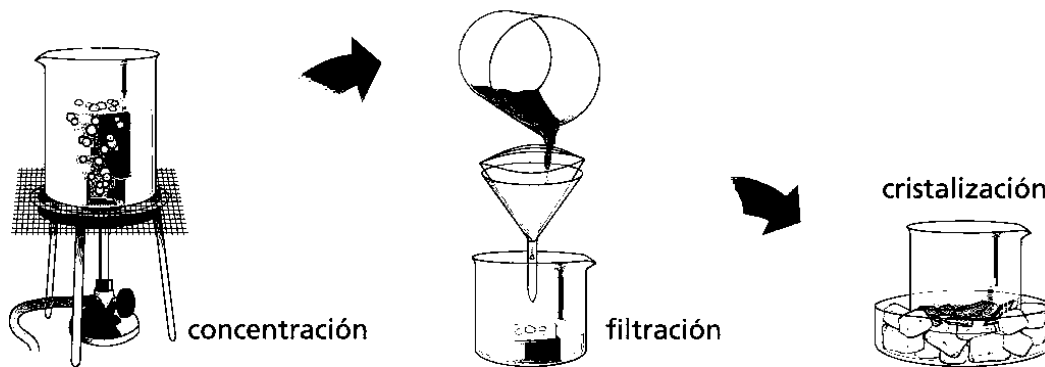


Figura 4. Representación del proceso de cristalización (El proceso de cristalización, 2018)

1.1.1.4 SUBLIMACION

Este proceso de purificación de sustancias sólidas se basa en que un sólido puede igualar su presión de vapor rápidamente con la presión atmosférica sin pasar por el estado líquido. Este método está basado en la teoría del punto triple de una sustancia, en donde las tres fases (sólido, líquido y vapor) coexisten en equilibrio (Chang, 2010).

1.1.2 MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR MEDIOS MECÁNICOS

La separación mecánica se puede aplicar a mezclas heterogéneas. Las técnicas se basan en diferencias físicas entre las partículas, tales como el tamaño, la forma o la densidad. Se aplican para separar líquidos de líquidos, sólidos de gases, líquidos de gases, sólidos de sólidos y sólidos de líquidos. Existen procesos especiales donde se utilizan otros métodos que no se estudiarán aquí. Estos métodos especiales se basan en las diferencias entre la facilidad de mojado o en las propiedades eléctricas, o magnéticas de las sustancias.

1.1.2.1 TAMIZADO

El tamizado es un método de separación de partículas que se basa solamente en la diferencia de tamaño entre las partículas de la mezcla sólida. En el tamizado industrial se vierten los sólidos sobre una superficie perforada o tamiz, que deja pasar las partículas pequeñas o más finas, y retiene las de tamaños superiores o impurezas. Un tamiz puede efectuar solamente

una separación en dos fracciones. Estas fracciones se llaman fracciones de tamaño no especificado, porque, aunque se conoce el límite superior o inferior del tamaño de las partículas que contiene, se desconoce el tamaño real de las partículas que están atravesando al tamiz en un momento dado.



(a)



(b)

Figura 5. a) Diagrama interno de un tamizador industrial. b) Tamizador industrial real (UNITFINE Machinery Co., Ltd, 2019)

1.1.2.2 FILTRACIÓN

La filtración es el proceso de separación de partículas sólidas contenidas en un fluido, se procede a hacer pasar el líquido contaminado a través de un medio filtrante, sobre el que se depositan los sólidos o impurezas. La filtración industrial va desde el simple colado que es un medio filtrante similar al tamiz, hasta separaciones más complejas como podrían ser la variación de filtrado al vacío, para favorecer las condiciones necesarias y que el líquido pueda pasar a través de capas del medio filtrante o material orgánico que nos ayudaran a filtrar aún más las sustancias, por ejemplo, se suele usar carbón activado en el filtrado al vacío para eliminar la coloración del líquido. El fluido puede ser un líquido o un gas; las partículas sólidas pueden ser gruesas o finas, rígidas o flexibles, redondas o alargadas.

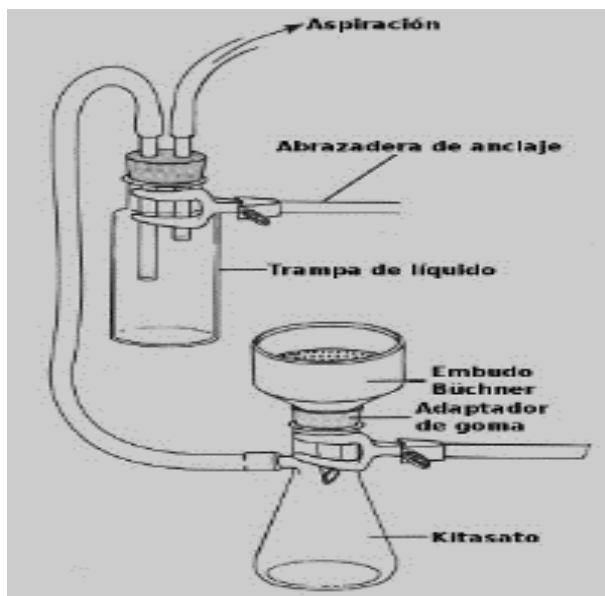


Figura 6. Conexiones de arreglo para filtrado al vacío (Bruzos & Bruzos, 2019)

1.1.2. PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN POR GRAVEDAD

Estas técnicas de separación están dirigidas a mezclas de sólidos contenidos en gases y líquidos. Por ejemplo, las partículas de polvo pueden retirarse de los gases por una gran variedad de métodos. Para partículas sólidas gruesas, es útil una cámara de sedimentación por gravedad. El aparato consiste en una gran caja, donde en uno de sus extremos entra aire cargado de polvo y por el otro sale el aire clarificado. En ausencia de corrientes de aire, las partículas sedimentan en el fondo por gravedad. Si el aire permanece en la cámara durante un período de tiempo suficiente, las partículas alcanzan el fondo de la cámara, de donde se pueden retirar posteriormente (Facultad de Química UNAM, 2008).

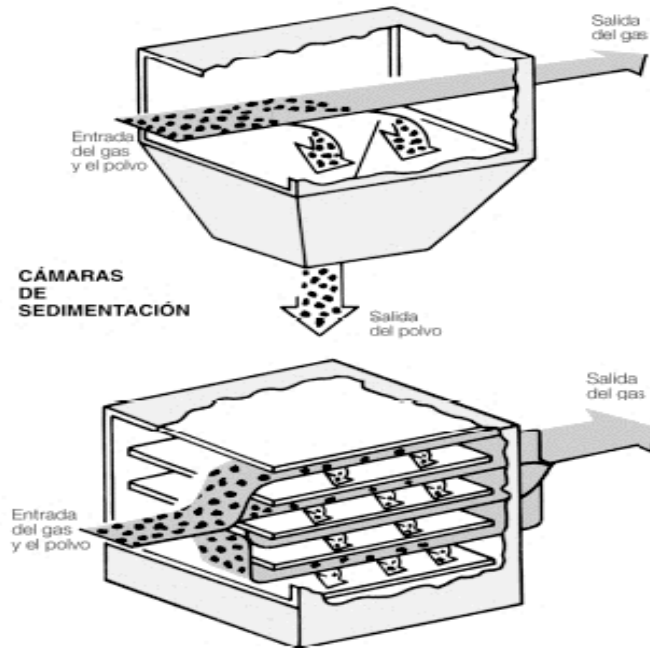


Figura 7. Esquema de una cámara de sedimentación por gravedad (Silva Castro, 2019)

1.1.3 EXTRACCIÓN

El método de extracción por solventes es un tema fundamental para lograr la transferencia de materia, estos procedimientos tienen como fundamento el extraer algún compuesto de interés, pero asegurando que no se genere una reacción química dentro del sistema, de modo que no degrade al compuesto o le proporcione propiedades tóxicas, con sustancias naturales o artificiales.

Esta es una operación que tiene por objetivo separar una sustancia deseada del material sólido o líquido que la contiene, haciendo uso de disolventes como: el agua, éter etílico, benceno, cetonas, ciclohexano, etc. de tal forma que seleccionando adecuadamente estos permitan la disolución de dicha sustancia sin disolver a otras que están presentes; estas técnicas tienen un amplio rango de aplicaciones prácticas dentro de las que se encuentra la extracción de productos naturales que pueden ser de origen animal o vegetal como son: vitaminas, alcaloides, grasas, hormonas, colorantes, aceites esenciales por mencionar algunos (Chevallier, 1997). Los disolventes orgánicos son compuestos orgánicos volátiles que se utilizan, para disolver materias primas, productos o materiales residuales, como agente de limpieza, para modificar la viscosidad, como conservante o como portador de otras sustancias que, una vez depositadas, quedan fijadas y el disolvente puede evaporarse, se puede dejar

que sus gases fluyan hacia la atmosfera y el medio ambiente o se puede tratar de recuperarlos, lo que sería el caso óptimo (Proyecto Fittema, 2019). En el laboratorio y en la industria, la extracción ya sea simple, continua o con reflujo aplica en general para efectuar separaciones y purificaciones de los productos de síntesis orgánica y en la separación de productos naturales. La extracción está basada tanto en la polaridad de los compuestos por separar como en la del disolvente empleado. Estos disolventes cumplen con una regla básica, disolventes polares disuelven sustancias polares y los disolventes no polares disuelven sustancias no polares (Química orgánica : experimentos con un enfoque ecológico, 2009).

Tabla 1. Disolventes más usados en orden de polaridad (Castillo & Mendoza Pérez, 2019)

DISOLVENTES	ESTRUCTURA	pe (°C)	pe (°C) Cd. México	DENSIDAD δ (g/mL)
Hexano		69		0.659
Tolueno		110		0.865
Benceno		80		0.874
Éter dietílico		35		0.706
Tetracloruro de carbono		77		1.604
Cloroformo		61		1.492
Cloruro de metileno (diclorometano)		40		1.325
Acetato de etilo		77		0.902
Acetona		56		0.791
Etanol		78		0.785
Metanol	H_3C-OH	65		0.791
Agua	$H-O-H$	100		1.000

La extracción puede llevarse a cabo entre diferentes fases como son: sólido-líquido o líquido-líquido esta es otra clasificación que se le puede hacer al procedimiento, y que se basa en la purificación de sustancias en diferentes fases, anteriormente se dieron ejemplos de cómo un sólido puede estar mezclado con otro (aleación metálica), o como un líquido puede ser

contaminado con otro que no sea de nuestro interés pues todos los compuestos que no son los buscados por nosotros se consideraran impurezas (Flor-M & Col, 2016).

A pesar de los enormes beneficios que la química proporciona a las sociedades modernas, en la actualidad existe un concepto generalizado de la producción y del uso de sustancias químicas, estas deben de empezar a tomar un roll de conciencia con el medio ambiente. La química verde o beneficiosa con el medio ambiente diseña productos y procesos químicos que reducen o eliminan el uso y producción de sustancias peligrosas, debido a que son usadas tanto por el consumidor como en aplicaciones industriales. Uno de los doce principios de la química verde enmarca un punto muy importante relacionado con el uso de los solventes utilizados en la extracción. Este propone el evitar en lo posible el uso de sustancias no imprescindibles (disolventes, reactivos para llevar acabo la separación, etc.) y en caso de su uso, que sean lo menos tóxicos o dañinos para el ser humano y el medio ambiente. Las graves afecciones que conlleva el uso de disolventes tanto para el medio ambiente como para el ser humano, considerando que los disolventes constituyen un 27% de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) emitidos a la atmosfera lo que detona en numerosos riesgos; algunos de estos son mencionados en la Tabla 2 (Morales Vite, 2013).

Tabla 2. *Riesgos de los compuestos orgánicos volátiles*

Riesgos para el medio ambiente	Riesgos para la salud
Los COV's contribuyen en varios problemas para el medio ambiente: contaminan el agua y dañan los ecosistemas naturales; algunos contribuyen al deterioro de la capa de ozono que protege a la tierra de los rayos ultravioleta mientras que otros, por el contrario, son los responsables de la existencia de ozono en niveles más bajos en la atmosfera, que resulta perjudicial para los seres vivos.	Los COV's además de ser volátiles, son solubles en grasas y tóxicos. Entre las principales afecciones producidas por los disolventes se encuentra la irritación en la piel, problemas respiratorios, muchos disolventes son además cancerígenos y algunos de ellos pueden causar infertilidad y problemas relacionados con la reproducción

En la Tabla 2 se enuncian algunas de las afecciones que puede llegar a inducir el uso de los solventes, en el Apéndice 3 se muestran las tablas donde se puede observar los riesgos para la salud derivados del uso, manipulación y exposición a los disolventes sin embargo hay métodos como la destilación que permiten hacer uso de estos solventes y extraerlos para su

rehusó evitando así contaminar a los productos obtenidos a través de la extracción con estos o permitir que los gases fluyan al medioambiente.

1.1.2.2. EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO

En este caso el compuesto se encuentra disuelto en un disolvente A y para realizar la extracción se emplea un disolvente B, los cuales deben ser inmiscibles entre sí (un ejemplo de líquidos inmiscibles son el petróleo y el agua, estos no se mezclarán entre sí). Los compuestos A y B son agitados hasta lograr que el compuesto se distribuya entre ambas capas de acuerdo con sus respectivas solubilidades.

Los extractos obtenidos a partir de diluciones acuosas son generalmente desecados antes de eliminar el disolvente, empleando diversas sustancias higroscópicas.

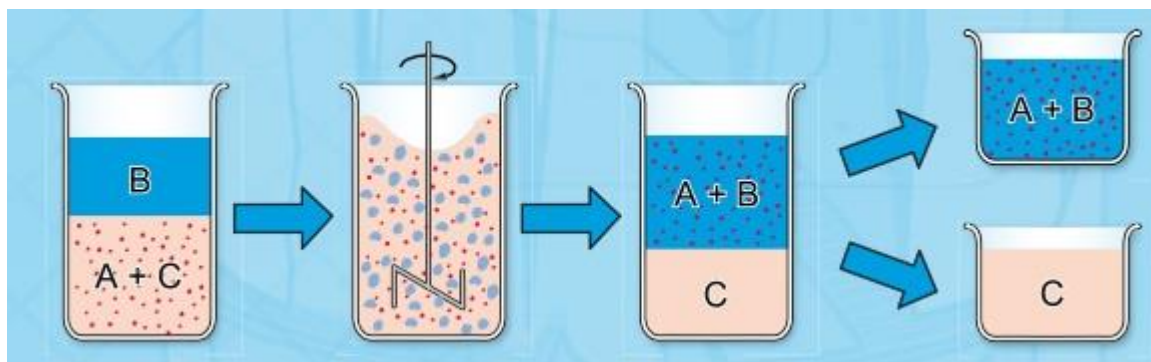


Figura 8. Proceso de extracción líquido – líquido (GUNT HAMBURG, 2019)

1.1.2.3 EXTRACCIÓN DE SÓLIDO – LÍQUIDO

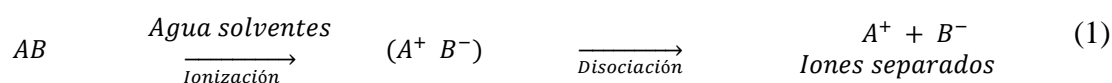
En este tipo de extracción el sólido por separar está contenido en una mezcla y puede ser extraído por un disolvente polar o no polar, dependiendo de su naturaleza como antes se mencionó. Posteriormente el disolvente es eliminado y el sólido separado se puede recuperar.

Las fuerzas de interacción que un solvente debe ser capaz de vencer para introducirse entre las moléculas o las micelas de las sustancias a disolver dependerán de la naturaleza de dichas sustancias. Una sustancia de composición A será soluble en un solvente de composición B si la energía necesaria para separar las moléculas A entre si es similar a la necesaria para separar

a las moléculas B entre sí. En el supuesto de que estas energías no fueran similares, cada tipo de moléculas preferirá a sus similares y no se mezclara con otras (Masschelein-K, 2004).

En nuestra situación particular haremos mención de dos de los más importantes solventes que se usan para hacer extracción sólido-líquido, son el agua como solvente universal y a la familia de los alcoholes en específico a el Etanol.

Los iones son átomos o grupos de átomos que poseen una carga eléctrica. Existen en estado sólido, aunque lo más común es que estos iones sólo se formen en solución. Ciertos solventes tienen la propiedad de inducir la ionización y a veces la disociación de algunos solutos



Las fuerzas eléctricas entre los iones llamadas fuerzas de Coulomb, en honor al científico que las describió experimentalmente, son mayores en la medida en que las cargas Q_A y Q_B sean mayores, pero disminuyen cuando las distancias r entre los iones aumentan y cuando la constante dieléctrica del solvente aumenta.

$$F \approx \frac{Q_A \times Q_B}{r^2 \times \epsilon} \quad (2)$$

Donde:

F ← Fuerzas de Coulomb

ϵ ← Constante dieléctrica

r ← Distancia

Q_A y Q_B ← La Carga A y la Carga B

El poder disociador de un solvente no está necesariamente ligado a su poder ionizante, es decir la capacidad de transforma un enlace covalente en enlace iónico, el poder ionizante depende de la capacidad de un solvente para captar o dar electrones. El agua cuenta con estas dos características lo que permite explicar en parte su excepcional poder de solvente y los alcoholes son derivados con uno o varios grupos hidroxilos, llevados por un carbono saturado. Es el etanol (del árabe alkohol: materia sutil) que dio su nombre a la función. Estas

soluciones acuosas provenientes de reacciones de fermentación, como es el caso de la caña de azúcar, son conocidas desde la antigüedad. Tomando en cuenta su capacidad de mezclarse con el agua, el alcohol anhidrido (o absoluto) necesita de una preparación especial y es este el empleado dentro del laboratorio.

Tabla 3. *Tabla de migración- evaporación- disolución*

Solvente	Penetración		Volatilidad - Retención				Interacciones específicas	
	viscosidad Cp. 20 °C	T. superficial dyn/cm 20°C	T° ebullición 760 mm Hg	P vap. mm Hg 20°C	L. vap. cal / g	Cte. dieléctrica	momento dipolares debyes	___20 n _D
n - hexano	0,30	18,8	68,6	120	82	1,9	0,0	13,750
Metilciclo hexano	0,88	25,6	80,7	77	86	2,0	0,0	14,263
Ciclo hexano	0,65	24,6	100,9	40	77	2,1	0,3	14,235
n-heptano	0,37	21,2	98,2	36	76	1,97	0,0	13,877
n-octano			125,6	10	71			
Isooctano	0,45	19,2	99,3					
n-decano			173,7	2,7	60		0,0	14,120
n-dodecano	1,39	26	216				0,0	1,40
Éter de Petróleo	0,48	19,9	40 - 60					
White spirit	0,89	25,4	150 - 195					



La Ecuación (3) muestra la estructura semidesarrollada del etanol. Se puede considerar y emplear a los alcoholes en conjunto como poco peligrosos, se debe recordar que el metanol puede provocar graves daños a la salud sobre todo si se ingiere.

Tabla 4. *Tabla de toxicidad de los alcoholes máxima permitida por partícula por millón (Masschelein-K, 2004)*

Solvente	MAC en ppm (52)
metanol	200
etanol	1000
isopropanol	400
propanol	200
n-butanol	100
cicloexanol	50

La extracción de materia a través del uso del solvente alcohol etílico es tan común y ampliamente usada debido a que este solvente no es toxico para el ser humano y puede emplearse en la extracción de material de origen vegetal, se les conoce por el nombre especifico de extractos etanólicos a este tipo de prácticas. Estos extractos conservan el olor característico, obtenido a partir de la materia prima de origen vegetal elegida (debe de ser desecada antes de someterla a estos procedimientos), a través del contacto directo con el etanol, la acción posterior de eliminación del solvente por un procedimiento físico como la destilación suele ser muy recurrente. Estos procesos pueden ser sometidos a determinadas operaciones para eliminar algunos de los componentes y así mejorar la calidad del producto condensado (Gonzalez Villa, 2004)

1.2 HISTORIA DE LA DESTILACIÓN

Aunque en la sección anterior ya se ha presentado al método de destilación, ahora profundizaremos un poco más con su historia para ver por qué este método a continuado vigente desde hace tanto tiempo y el por qué se hace necesario realizar dispositivos electrónicos capaces de complementar a este proceso para hacerlo más fácil de realizar, permitiendo que ciertas tareas como la medición de la temperatura en diversas zonas de interés o el flujo ininterrumpido de agua por el refrigerante sean realizadas automáticamente por el sistema electrónico, librando así al operador de tareas rutinarias y permitiendo que emplee su destreza técnica en obtener la purificación de un alto grado

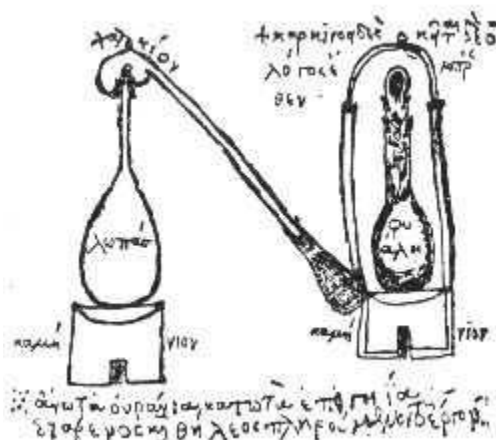


Figura 9. Pictograma representativo de un destilador (Ramirez, 2019)

El arte de la destilación ha sido conocida desde la antigua Grecia, o por lo menos es esta una opinión muy acreditada, aunque nunca ha sido probada por los historiadores (Stichlmair & Fair, 1998). La destilación tiene presencia en variadas culturas antiguas siendo la destilación intermitente un proceso mucho más antiguo que la destilación continua.



(a)



(b)

Figura 10. a). Descripción verbal del proceso de destilación (Iberian Coppers S.A., 2019). b). Alambique Árabe antiguo (Pinterest, 2019)

Los alquimistas árabes, alrededor del año 700 D.C., desarrollaron esta técnica por primera vez para concentrar alcohol (Valle, 1998). Fue adoptada en Europa Occidental y el primer libro conocido sobre el tema fue “Liber de arte distillandi de Hieronymus Brunschwig”, publicado en latín a principios del siglo XVI, pero se mantuvo en un papel secundario no muy relevante en su tiempo y no fue hasta la publicación de “Das New Gross Distillier Buch”, de Walter Ryff, en idioma alemán en 1545 (Stanwood, 2005), cuando esta nueva técnica comenzó a ganar renombre en la comunidad académica, siendo utilizada para lograr concentraciones más altas que con los métodos desarrollados hasta la época, este libro contiene una “lista de aparatos y técnicas de destilación, además de las principales fuentes de materia prima de algún componente de interés como son las plantas, animales y minerales posibles para ser destilados para uso farmacéutico humano”; En años posteriores a esta obra, se continuó con el estudio y práctica de estos procedimientos y en 1651, John French publicó The art of distillation el primer compendio importante en inglés. Las primeras formas de destilación involucran procesos por lotes (fracciones, partes, son nombres que se utilizan

indistintamente) que usaban una vaporización y una condensación, la pureza se mejoraba mediante una mayor destilación del condensado. Los mayores volúmenes fueron procesados simplemente repitiendo el procedimiento en variadas ocasiones, según algunos informes de la época los químicos llegaban a realizar entre 500 y 600 destilaciones para poder obtener un compuesto con una pureza deseable (Wankat, 2009).



Figura 11. “Das New Gross Distillier Buch”, de Ryff, Walther Hermann. (Jeff Weber Rare Books, 2019)

Los avances en la destilación se han relacionado con su aplicación en la destilación de plantas medicinales (aceites esenciales), productos farmacéuticos, petróleo y químicos finos, con lo que su continuo desarrollo tiene un futuro asegurado al ser un proceso casi universal dentro de muchos sistemas de la industria química, Lo que implica que es necesario el continuo mejoramiento de los equipos electrónicos para ayudar al operador.

Cuando se habla de destilación se habla de hacer una mezcla líquida de dos o más sustancias para crear una disolución homogénea dentro de un matraz, también conocido como matraz de calentamiento dentro de este proceso, y colocarlo en un sistema cerrado que a continuación será calentado progresivamente, pudiendo introducir algún material inerte dentro de esta mezcla líquida como porcelana porosa o cristal para poder disminuir el caos creado al alcanzar la ebullición, hasta alcanzar la temperatura del punto de ebullición del líquido es este el momento en el cual la presión de vapor de la mezcla es igual a la presión alrededor del líquido permitiendo así que se formen burbujas sin ser aplastadas produciéndose la evaporación (Química orgánica : experimentos con un enfoque ecológico, 2009). La

composición del vapor es normalmente diferente a la del líquido debajo de él, sin importar si se está tratando de un sistema de destilación continua o fraccionada (por lotes). Esta diferencia de composición en las dos fases en el equilibrio fundamenta la destilación y por esta razón, es que dicho proceso es aplicable para separar mezclas de compuestos por sus diferentes volatilidades o sus diferentes presiones de vapor.

La técnica de destilación está fundamentada en la diferencia de composición de las dos fases en el equilibrio térmico y además debido a esta razón el reconocimiento del equilibrio líquido-vapor es esencial para el tratamiento analítico de cualquier problema relacionado con destilación como pronto usted verá, no siempre se puede dar por satisfecho un científico de nuestra casa de estudios con una simple tabla que indique los valores de temperatura para los cuales alguna mezcla puede estar en equilibrio líquido-vapor, debido a que hay muchos factores que pueden afectar a este valor, por lo que usualmente dentro de estos procesos de destilación se incluye un instrumento de medición para conocer la temperatura de las zonas de interés y con esto permitir al operador dar un cierto control sobre el proceso y poder tomar decisiones que podrían alterar la composición o pureza del condensado o producto final, lo curioso es que normalmente se efectúa esta medición a través de instrumentos analógicos como lo son los termómetros de mercurio y las termocuplas, también conocidas como termopares, por su bajo costo y relativa efectividad, aunque incluso se encuentran disponibles en el mercado algunos termómetros digitales capaces de sustituir a los instrumentos anteriores, usualmente su costo se ve incrementado sin asegurar que será capaz de cubrir el rango de temperatura deseado para los diferentes compuestos que podríamos llegar a someter a este procedimiento o si su composición física (empaquetado) permitirá tomar una buena medición. Continuaremos con la exposición del concepto de equilibrio térmico pues como se puede asegurar ahora la propiedad de temperatura del sistema será muy importante dentro de todo nuestro análisis y es por esto por lo que no omitiremos su estudio.

1.2.1 CONCEPTO DE EQUILIBRIO TÉRMICO

En un sistema cerrado (imaginen un recipiente, un matraz, por ejemplo) en equilibrio térmico, el cual contiene un líquido se encuentra en contacto con su vapor, a través de una frontera

llamada interface (también llamada tensión superficial). Las moléculas del líquido se están evaporando, mientras que las moléculas de vapor se están condensando simultáneamente, a la misma velocidad (Flor-M & Col, 2016).

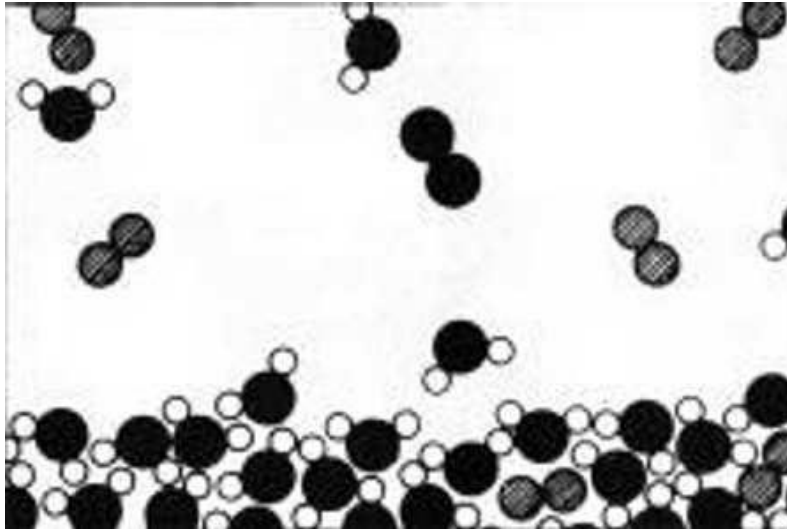


Figura 12. Cúmulo de moléculas evaporándose de su sustancia madre (Feynman, 2007).

La característica principal que define al equilibrio termodinámico es la ausencia de cambios macroscópicos consecuencia de presenciar idénticas velocidades de evaporación y condensación como se mencionó en el párrafo anterior. Estos cambios macroscópicos invariablemente los identificamos como Presión, Temperatura y composición de las fases del sistema, siendo esto una verdadera fortuna para nosotros ya que con los transductores e instrumentos de medición electrónicos disponibles actualmente, es posible comenzar a vislumbrar un camino hacia nuestra meta que es diseñar y desarrollar un sistema electrónico, capaz de obtener y presentar al usuario una medición de temperatura en las zonas de interés para este proceso de destilación, entre otras tareas que iremos implementando dentro del diseño para hacer gradual su construcción y así permitir verificar su funcionamiento y no cometer el error de construir un circuito tan complejo que no permita una fácil inspección para la detección de fallas, montaje de componentes o simplemente que complique demasiado su colocación final. Cuando no se presenta el equilibrio térmico dentro del sistema, el líquido y el vapor pueden presentar diferentes presiones y temperaturas, y estar presentes en diferentes fracciones molares (composición). En el equilibrio, las temperaturas, presiones y fracciones de las dos fases (para el caso más simple hablemos de dos fases,

líquido y vapor), cesan de cambiar. Aunque las moléculas continúan evaporándose y condensando, la velocidad con la que se condensa es igual a la velocidad con la que se evapora, y el cambio neto es nulo, con lo que queda demostrado por que la variable de la temperatura debería darnos información de gran importancia sabiendo que esta variable se ve modificada al no tener un equilibrio térmico dentro del sistema (Química orgánica : experimentos con un enfoque ecológico, 2009).

Además de asegurar que será necesario ser capaces de medir la variable de temperatura en las dos fases en las que se encontrara nuestro sistema que será líquida y gaseosa, dependiendo de los gases a los que se pretenda someter al equipo serán las restricciones adicionales, aunque la gran mayoría de sensores (sino es que todos) soportan la medición de temperatura del medio ambiente (aire circundante). En el equilibrio térmico, no hay cambio de composición entre las fases, pero no son la misma para cada fase, la presión y la temperatura del sistema se mantienen constantes. Si las composiciones fueran iguales no podría lograrse separación alguna (puntos azeotrópicos) y el proceso de destilación no tendría fundamento. Si la presión y la temperatura se mantienen constantes se logra que en el sistema haya un mínimo de energía libre. La condición resultante es que los potenciales químicos de la fase líquido se igualen a las del vapor (Química orgánica : experimentos con un enfoque ecológico, 2009).

Los procesos de destilación se clasifican como continuos e intermitentes, aunque nuestro proceso de destilación será preferentemente un proceso por lotes (intermitente) la destilación continua sigue teniendo relevancia al ser un procedimiento con solo algunas variaciones, siendo su mayor limitante la capacidad volumétrica máxima, así como su control. Antes de comenzar con la exposición de cada una de estas variantes, se definirá el concepto de disolución, ya que este será nuestro medio de trabajo principal.

Entre las propiedades generales de las disoluciones acuosas se encuentra el estar formadas por una mezcla homogénea de dos o más sustancias, el soluto es la sustancia presente en menor cantidad, y el disolvente es la sustancia que está en mayor cantidad. Una disolución

puede ser gaseosa (como el aire), sólida (como una aleación) o líquida (agua de mar) (Chang, 2010).

1.3 MÉTODOS DE DESTILACIÓN

En las secciones anteriores ya hemos dado algunas ideas básicas de lo que es este procedimiento, aunque hay ciertas variaciones que se pueden realizar al proceso general, en las secciones siguientes iremos describiendo cada una de las variaciones más importantes así como por que tienen una aplicación práctica en la industria moderna, será usual que varios de estos procedimientos se puedan llevar a cabo con diferentes piezas o diseños de piezas de cristalería, aunque en esencia siempre se sigue el mismo objetivo en su diseño, cada uno de estos artefactos de cristal tienen un diseño específico dentro del arreglo y será parte de la destreza del operador el seleccionar cada uno de los componentes de cristal para llevar a cabo el procedimiento de destilación en el menor tiempo posible y con las menores pérdidas, esto es parte del arte de la destilación.

1.3.1 DESTILACIÓN FLASH

La destilación flash se lleva a cabo en una sola etapa, en este proceso se vaporiza parcialmente una fracción de la mezcla que se desea separar de tal manera que el vapor que se forma está en equilibrio termodinámico con el líquido, así mismo los componentes más volátiles se concentran en el vapor mientras que los componentes menos volátiles lo harán en la fracción líquida. La destilación Flash es uno de los procesos de separación más simples y esta puede llevarse a cabo por lotes o en forma continua (Treybal, 2003), su nombre se debe a que al entrar la alimentación de la mezcla su vaporización es extremadamente rápida (Wankat, 2009). La mezcla líquida se somete a presión, se calienta y se hace pasar por una válvula de control para entrar al separador instantáneo. Debido a la gran caída de presión parte de la mezcla líquida se vaporiza. Una aplicación de una destilación flash la podemos encontrar en el proceso de obtención de éster metílico y glicerina: esta separación se aplica en una parte del proceso denominada purificación de éster metílico/destello de metanol en esta se alimenta una mezcla que contiene el biodiesel, metanol y agua a una cámara de destilación flash y se logra la separación del éster metílico que sale por el fondo y es enviado

a su almacenamiento mientras que la mezcla metanol-agua sale por la parte superior y se envía a la unidad de rectificación de metanol. (SmetEngineers&Contractors, 2014).

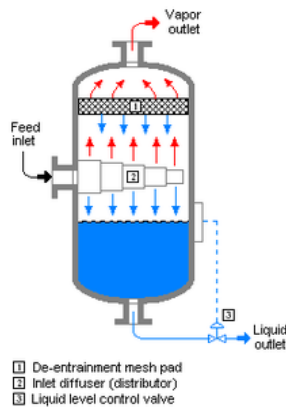


Figura 13. Representación de proceso de destilación flash (Wikipedia, 2019).

1.3.2 DESTILACIÓN SIMPLE Y FRACCIONADA

Se puede describir este método de separación en pocas palabras como un proceso que consiste en la vaporización de un líquido, condensación del vapor y recolección del condensado; se somete a esta técnica a la mezcla líquida de una sustancia que está contaminada con alguna impureza en el hervidero(calderín) del destilador y se somete a calentamiento de tal manera que los vapores producidos se extraen enviándolos a un condensador. En este proceso las composiciones del vapor y el líquido no son constantes en todo el proceso debido a que la primera porción de vapor condensado es más rica en el componente más volátil, pero a medida que se sigue vaporizando la mezcla el producto vaporizado es más pobre en el compuesto más volátil (Geankoplis, 2010). Por lo tanto, al final de la operación tendremos un destilado con una composición promedio y un sobrante denominado residuo (Treybal, 2003).

La destilación fraccionada debe emplearse para separar y purificar mezclas de sustancias de punto de ebullición cercano. debido a que no hay constancia en el punto de ebullición porque este aumenta continuamente debido a que se han eliminado impurezas como se mencionó anteriormente, no se lograra observar una separación definida. Para que este tipo de mezcla se pueda separar eficazmente, se requiere de emplear una columna de fraccionamiento que proporcione una gran superficie para el intercambio de calor, entre las condiciones de

equilibrio, entre el vapor ascendente y el condensado descendente (Química orgánica : experimentos con un enfoque ecológico, 2009).

Debido a que en algunas de las separaciones por destilación simple y fraccionada no se obtienen compuestos de alta pureza para mezclas de puntos de ebullición cercanos o se requieren varias destilaciones consecutivas para este propósito. Un ejemplo típico es que desde el siglo XV, para la obtención de un mayor contenido de alcohol se tenía que realizar una segunda destilación (Stichlmair & Fair, 1998).Entonces surge la rectificación fraccionada o por etapas, este proceso se lleva a cabo como si se tuvieran varios equipos de destilación simple en un arreglo de cascada en contracorriente de tal manera que los productos vapor y líquido de cada etapa fluyen en contracorriente (Geankoplis, 2010). La destilación por rectificación se refiere al proceso por el cual se logra un cambio mayor de concentración después del primer paso de evaporación. Este proceso se puede llevar a cabo de forma continua o por lotes según las condiciones y tipo de pureza que es requerido. La fabricación de un arreglo en cascada es demasiado cara por lo tanto en un sólo equipo se acoplan diferentes etapas o platos, a este tipo de equipo se le denomina columna de platos. Esto con el fin de tener un íntimo contacto entre las dos fases (Perry, 1997). Los diámetros de estas columnas pueden variar desde 0.3 metros (un pie) hasta más de nueve metros (30 pies) (McCabe, 1996), y estas variaciones se deberán al tipo de producto que se quiera obtener y a los compuestos de nuestra mezcla líquida.

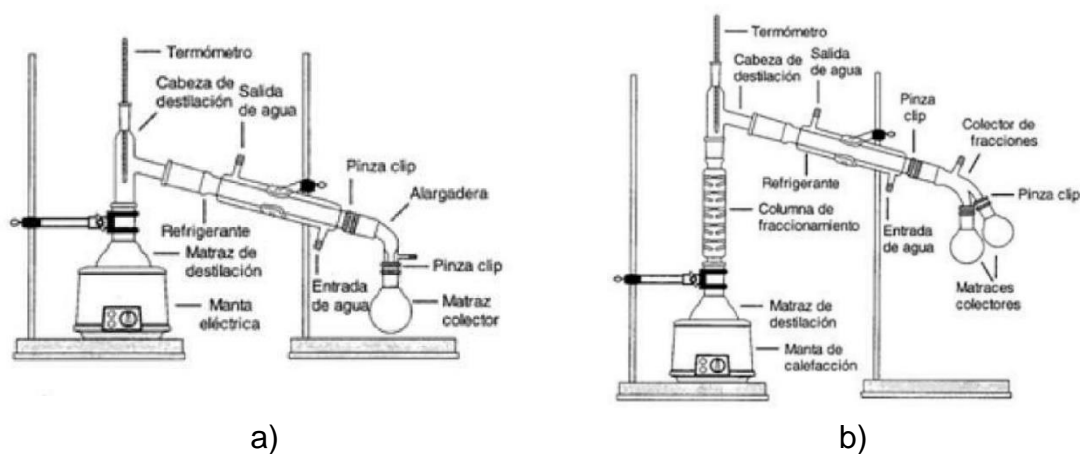


Figura 14. a) Sistema de destilación simple (Universidad de Sevilla, 2019) b) Sistema de destilación fraccionada (Universidad de Sevilla, 2019)

1.3.3 DESTILACIÓN CON RECTIFICACIÓN.

Para lograr una mejor operación de rectificación ya sea por lotes o continua se usa un reflujo, esto es, que por la parte superior de la columna se retoma una parte del destilado condensado con el fin de tener contacto entre las dos fases líquido-vapor.

En el fondo de la columna se cuenta con un rehervidor que puede ser total o parcial para tener un vapor que entre en la columna. Una columna de destilación está formada por una zona de enriquecimiento donde la sustancia más volátil se enriquece y una zona de agotamiento donde la sustancia más volátil se empieza a agotar;

1.3.4. DESTILACIÓN AZEOTRÓPICA

En una mezcla como sería el líquido para separar, se puede presentar el caso que, debido a sus fuertes interacciones intermoleculares, se forme lo que se denominan puntos azeótropos.

Un azeótropo se define como una mezcla en equilibrio donde las composiciones en las dos fases (líquido y vapor) son iguales, es decir es una mezcla que hierve a temperatura constante, de tal modo que, no es posible obtener una mayor pureza en el componente deseado a través de la destilación.

Por lo tanto, se convierte en una operación difícil de realizar debido a que los dos componentes tienen aproximadamente el mismo punto de ebullición. Este tipo de mezclas pueden ser separadas añadiendo un solvente que forme un azeótropo con un componente de la mezcla llamado componente clave y así facilitar la separación, estos solventes generalmente reciben el nombre de arrastrador (Perry, 1997) se suele utilizar este arrastrador cuando hay necesidad de un solvente que contenga un punto de ebullición alto como el agua por ejemplo pero del cual necesitamos que sea más volátil.

Tabla 5. *Compuestos utilizados en la formación de azeótropos con agua (Masschelein-K, 2004)*

constituyentes	T° ebullición °C	T° ebullición azeótropos	Composición en %
ácido acético	118,1	76,6	3
agua	100,0		97
acetona	56,5	56,08	88,5
agua	100,0		11,5
etanol	78,5	76,7	68,0
tolueno	110,6		32,0
metiletilcetona	79,6	73,4	88,0
agua	100,0		12,0
isopropanol	82,3	76,3	38,2
tolueno	110,6		48,7
agua	100,0		13,1

1.3.5. DESTILACIÓN EXTRACTIVA

Una destilación extractiva consiste en la adición de un tercer componente a una mezcla binaria que presente o no comportamiento azeotrópico, esto con el fin de modificar la volatilidad relativa de los componentes que constituyen la mezcla. Este puede ser un solvente miscible en uno o los dos componentes de la mezcla o puede poseer un punto de ebullición elevado, pero también debe ser químicamente semejante a uno de los componentes de la mezcla (Perry, 1997)

Se anexan las listas y tablas de los solventes más comúnmente usados en la industria en el Apéndice 3, Apéndice 4 y Apéndice 5.

Tabla 6. Solventes utilizados en los procesos extractivos (Noriega Rivera, 2009)

Solventes utilizados en los procesos extractivos			
Solvente	Temp Eb (° C)	Miscibilidad con el agua (a)	TLV (b)
Acetona	116-117	80	1.000
Ácido acético	77	T	10
Acetato de etilo	80	19	40
Benceno	79,5	T	25
Butan-2-ona	80,7	1,3	2.200
Ciclohexano	39,7	8	300
Diclorometano	61	0,8	2.200
Cloroformo	76-77	T	50
Tetracloruro de C	69	∞	10
n-hexano	78	1,2	-
Etanol	34,6	-	1.000
Éter etílico	30-50	∞	400
Éter de petróleo	290 *	∞	500
Glicerina	64,7	M	-
Metanol	97	M	200 #
1- propanol	82,4	0,06	400
2- propanol	110,6		400
Tolueno	∞		100 #
56	∞		

Tabla 7: Propiedades de los solventes usados en química orgánica (Murov, 2018)

Solvent	formula	boiling point (°C)	melting point (°C)	density (g/mL)	solubility in H ₂ O ¹ (g/100g)	relative polarity ²	eluant strength ³	threshold limits ⁴ (ppm)	vapor pressure 20°C (kPa)	dipole moment (D)	dielectric constant	viscosity 10 ⁻³ Pa s
acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	118	16.6	1.049	M	0.648	>1	10	15.3	1.68	6.2	1.12
acetone	C ₃ H ₆ O	56.2	-94.3	0.786	M	0.355	0.56	500	240	2.85	21	0.30
acetonitrile	C ₂ H ₃ N	81.6	-46	0.786	M	0.480	0.65	20	97	3.5	37.5	0.34
acetyl acetone	C ₅ H ₈ O ₂	140.4	-23	0.975	16	0.571			3	3.0	23	
2-aminooctanol	C ₂ H ₇ NO	170.9	10.5	1.018	M	0.651		3	0.53	2.3-2.6	37.7	20.8
aniline	C ₆ H ₇ N	184.4	-6.0	1.022	3.4	0.420		2	0.4	1.6	6.8	3.8
anisole	C ₇ H ₈ O	153.7	-37.5	0.996	0.10	0.198			3.5*	1.4	4.3	
benzene	C ₆ H ₆	80.1	5.5	0.879	0.18	0.111	0.32	0.5	101	0	2.3	0.60
benzonitrile	C ₇ H ₅ N	205	-13	0.996	0.2	0.333		10	12	4.1	26	1.27
benzyl alcohol	C ₇ H ₈ O	205.4	-15.3	1.042	3.5	0.608			0.094*	1.7	13	5.47
1-butanol	C ₄ H ₁₀ O	117.6	-89.5	0.81	7.7	0.586		20	6.3	1.7	17.5	2.59
2-butanol	C ₄ H ₁₀ O	99.5	-114.7	0.808	18.1	0.506		100	18.3*	1.7	17.3	3.1
i-butanol	C ₄ H ₁₀ O	107.9	-108.2	0.803	8.5	0.552			10.5*	1.8	17.9	6.68
2-butanone	C ₄ H ₈ O	79.6	-86.3	0.805	25.6	0.327	0.51	200	105	2.8	18.6	0.41
t-butyl alcohol	C ₄ H ₁₀ O	82.2	25.5	0.786	M	0.389		100	41	1.7	12.4	3.35
carbon disulfide	CS ₂	46.3	-111.6	1.263	0.2	0.065	0.15	10	400	0	2.6	0.36
carbon tetrachloride	CCl ₄	76.7	-22.4	1.594	0.08	0.052	0.18	5	120	0	2.3	0.90
chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	132	-45.6	1.106	0.05	0.188	0.30	10	12	1.54	5.7	0.75
chloroform	CHCl ₃	61.2	-63.5	1.498	0.8	0.259		10	210	1.0	4.8	0.54
cyclohexane	C ₆ H ₁₂	80.7	6.6	0.779	0.005	0.006	0.04	100	104	0	2	0.89
cyclohexanol	C ₆ H ₁₂ O	161.1	25.2	0.962	4.2	0.509		50	1.2	1.9	15	
cyclohexanone	C ₆ H ₁₀ O	155.6	-16.4	0.948	2.3	0.281		25	5	2.9	15	2.00
di-n-butylphthalate	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	340	-35	1.049	0.0011	0.272						16.6
1,1-dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	57.3	-97.0	1.176	0.5	0.269		100	240	1.8	10	
1,2-dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	83.5	-35.4	1.235	0.87	0.327			79*	1.8	10.4	0.78
diethylamine	C ₄ H ₁₁ N	56.3	-48	0.706	M	0.145	0.63	5	260	1.2	3.8	0.32
diethylene glycol	C ₄ H ₁₀ O ₃	245	-10	1.118	M	0.713			0.027	2.3	31.8	30.2
diglyme	C ₆ H ₁₄ O ₃	162	-64	0.945	M	0.244				1.9	7.23	1.88
dimethoxyethane (glyme)	C ₄ H ₁₀ O ₂	85	-58	0.868	M	0.231				1.7	7.3	1.1
N,N-dimethylaniline	C ₈ H ₁₁ N	194.2	2.4	0.956	0.14	0.179						
dimethylformamide (DMF)	C ₃ H ₇ NO	153	-61	0.944	M	0.386		10	3.5	3.8	37	0.80
dimethylphthalate	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	283.8	1	1.190	0.43	0.309						
dimethylsulfoxide (DMSO)	C ₂ H ₆ OS	189	18.4	1.092	M	0.444	0.75		0.61*	3.9	46.7	2.00
dioxane	C ₄ H ₈ O ₂	101.1	11.8	1.033	M	0.164	0.56	20	41	0.4	2	1.18
ethanol	C ₂ H ₆ O	78.5	-114.1	0.789	M	0.654	0.88	100	59	1.7	24	1.08
ether	C ₄ H ₁₀ O	34.6	-116.3	0.713	7.5	0.117	0.38	400	587	1.25	4.3	0.22
ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	77	-83.6	0.894	8.7	0.228	0.58	400	97	1.78	6.0	0.43
ethyl acetoacetate	C ₆ H ₁₀ O ₃	180.4	-80	1.028	2.9	0.577			0.78*			
ethyl benzoate	C ₉ H ₁₀ O ₂	213	-34.6	1.047	0.07	0.228				2.0	6.0	
ethylene glycol	C ₂ H ₆ O ₂	197	-13	1.115	M	0.790	1.11		0.092*	2.3	37.7	16.1
glycerin	C ₃ H ₈ O ₃	290	17.8	1.261	M	0.812				2.7	42.5	934
heptane	C ₇ H ₁₆	98	-90.6	0.684	0.0003	0.012		400	48	0	1.9	0.39
1-heptanol	C ₇ H ₁₆ O	176.4	-35	0.819	0.17	0.549				1.7	12	6.0
hexane	C ₆ H ₁₄	69	-95	0.655	0.0014	0.009	0.01	50	160	0	1.9	0.29
1-hexanol	C ₆ H ₁₄ O	158	-46.7	0.814	0.59	0.559			0.22*		12.5	0.59
methanol	CH ₄ O	64.6	-98	0.791	M	0.762	0.95	200	128	1.6	33	0.54
methyl acetate	C ₃ H ₆ O ₂	56.9	-98.1	0.933	24.4	0.253		200	220	1.7	6.68	0.36
methyl t-butyl ether (MTBE)	C ₅ H ₁₂ O	55.2	-109	0.741	4.8	0.124	0.20		250*	1.4	2.6	0.36
methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	39.8	-96.7	1.326	1.32	0.309	0.42	50	475	1.6	9.0	0.42
1-octanol	C ₈ H ₁₈ O	194.4	-15	0.827	0.096	0.537				1.7	10.3	7.4
pentane	C ₅ H ₁₂	36.1	-129.7	0.626	0.004	0.009	0.00	600	573	0	1.84	0.23
1-pentanol	C ₅ H ₁₂ O	138.0	-78.2	0.814	2.2	0.568			2.2*	5.7	14	3.5
2-pentanol	C ₅ H ₁₂ O	119.0	-50	0.810	4.5	0.488			6.1*	1.7	13.7	3.5
3-pentanol	C ₅ H ₁₂ O	115.3	-8	0.821	5.1	0.463			8.8*	1.7	13.3	
2-pentanone	C ₅ H ₁₀ O	102.3	-76.9	0.809	4.3	0.321			35.4*	2.7	15.4	0.50
3-pentanone	C ₅ H ₁₀ O	101.7	-39.8	0.814	3.4	0.265		200	37.7*	2.8	17.0	
1-propanol	C ₃ H ₈ O	97	-126	0.803	M	0.617	0.82		21*	1.68	22	1.95
2-propanol	C ₃ H ₈ O	82.4	-88.5	0.785	M	0.546	0.82	400	44	1.66	19	2.07
pyridine	C ₅ H ₅ N	115.5	-42	0.982	M	0.302	0.71	5	20	2.2	13	0.88
tetrahydrofuran (THF)	C ₄ H ₈ O	66	-108.4	0.886	30 or M ⁵	0.207	0.57	200	200	1.63	7.5	0.46
toluene	C ₇ H ₈	110.6	-93	0.867	0.05	0.099	0.29	50	29	0.36	2.4	0.55
water	H ₂ O	100.00	0.00	0.998	M	1.000	>>1		17.5	1.85	80.1	0.89
water, heavy	D ₂ O	101.3	4	1.107	M	0.991			15	1.84	78.3	1.10
p-xylene	C ₈ H ₁₀	138.3	13.3	0.861	0.02	0.074	0.26	100	15	0	2.27	0.65

Tabla 8: Propiedades de los solventes de acuerdo con la polaridad (Murov, 2018).

Solvent	formula	boiling point (°C)	melting point (°C)	density (g/mL)	solubility in H ₂ O ¹ (g/100g)	relative polarity ²	eluant strength ³	threshold limits ⁴ (ppm)	vapor pressure 20°C (hPa)	dipole moment (D)	dielectric constant	viscosity 10 ⁻³ Pa s
cyclohexane	C ₆ H ₁₂	80.7	6.6	0.779	0.005	0.006	0.04	100	104	0	2	0.89
pentane	C ₅ H ₁₂	36.1	-129.7	0.626	0.0039	0.009	0.00	600	573	0	1.84	0.23
hexane	C ₆ H ₁₄	69	-95	0.655	0.0014	0.009	0.01	50	160	0	1.9	0.29
heptane	C ₇ H ₁₆	98	-90.6	0.684	0.0003	0.012		400	48	0	1.9	0.39
carbon tetrachloride	CCl ₄	76.7	-22.4	1.594	0.08	0.052	0.18	5	120	0	2.3	0.90
carbon disulfide	CS ₂	46.3	-111.6	1.263	0.2	0.065	0.15	10	400	0	2.6	0.36
p-xylene	C ₈ H ₁₀	138.3	13.3	0.861	0.02	0.074	0.26	100	15	0	2.27	0.65
toluene	C ₇ H ₈	110.6	-93	0.867	0.05	0.099	0.24	50	29	0.36	2.4	0.55
benzene	C ₆ H ₆	80.1	5.5	0.879	0.18	0.111	0.32	0.5	101	0	2.3	0.60
ether	C ₄ H ₁₀ O	34.6	-116.3	0.713	7.5	0.117	0.38	400	587	1.25	4.3	0.22
methyl t-butyl ether (MTBE)	C ₅ H ₁₂ O	55.2	-109	0.741	4.8	0.124	0.20		250*	1.4	2.6	0.36
diethylamine	C ₄ H ₁₁ N	56.3	-48	0.706	M	0.145	0.63	5	260	1.2	3.8	0.32
dioxane	C ₄ H ₈ O ₂	101.1	11.8	1.033	M	0.164	0.56	20	41	0.4	2	1.18
N,N-dimethylaniline	C ₈ H ₁₁ N	194.2	2.4	0.956	0.14	0.179						
chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	132	-45.6	1.106	0.05	0.188	0.30	10	12	1.54	5.7	0.75
anisole	C ₇ H ₈ O	153.7	-37.5	0.996	0.10	0.198			3.5*	1.4	4.3	1.05
tetrahydrofuran (THF)	C ₄ H ₈ O	66	-108.4	0.886	30 or M ⁵	0.207	0.57	200	200	1.63	7.5	0.46
ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	77	-83.6	0.894	8.7	0.228	0.57	400	97	1.78	6.0	0.43
ethyl benzoate	C ₉ H ₁₀ O ₂	213	-34.6	1.047	0.07	0.228				2.0	6.0	
dimethoxyethane (glyme)	C ₄ H ₁₀ O ₂	85	-58	0.868	M	0.231				1.7	7.3	1.1
diglyme	C ₆ H ₁₄ O ₃	162	-64	0.945	M	0.244				1.9	7.23	1.88
methyl acetate	C ₃ H ₆ O ₂	56.9	-98.1	0.933	24.4	0.253		200	220	1.7	6.68	0.36
chloroform	CHCl ₃	61.2	-63.5	1.498	0.8	0.259	0.40	10	210	1.0	4.8	0.54
3-pentanone	C ₅ H ₁₂ O	101.7	-39.8	0.814	3.4	0.265		200	37.7*	2.8	17.0	
1,1-dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	57.3	-97.0	1.176	0.5	0.269		100	240	1.8	10	
di-n-butyl phthalate	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	340	-35	1.049	0.0011	0.272						16.6
cyclohexanone	C ₆ H ₁₀ O	155.6	-16.4	0.948	2.3	0.281		25	5	2.9	15	2.00
pyridine	C ₅ H ₅ N	115.5	-42	0.982	M	0.302	0.71	5	20	2.2	13	0.88
dimethylphthalate	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	283.8	1	1.190	0.43	0.309						
methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	39.8	-96.7	1.326	1.32	0.309	0.42	50	475	1.6	9.0	0.42
2-pentanone	C ₅ H ₁₀ O	102.3	-76.9	0.809	4.3	0.321			35.4*	2.7	15.4	0.50
2-butanone	C ₄ H ₈ O	79.6	-86.3	0.805	25.6	0.327	0.51	200	105	2.8	18.6	0.41
1,2-dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	83.5	-35.4	1.235	0.87	0.327			79*	1.8	10.4	0.78
benzotrile	C ₇ H ₅ N	205	-13	0.996	0.2	0.333		10	12	4.1	26	1.27
acetone	C ₃ H ₆ O	56.2	-94.3	0.786	M	0.355	0.56	500	240	2.85	21	0.30
dimethylformamide (DMF)	C ₃ H ₇ NO	153	-61	0.944	M	0.386		10	3.5	3.8	37	0.80
t-butyl alcohol	C ₄ H ₁₀ O	82.2	25.5	0.786	M	0.389		100	41	1.7	12.4	3.35
aniline	C ₆ H ₇ N	184.4	-6.0	1.022	3.4	0.420		2	0.4	1.6	6.8	3.8
dimethylsulfoxide (DMSO)	C ₂ H ₆ OS	189	18.4	1.092	M	0.444	0.75		0.61*	3.9	46.7	2.00
acetonitrile	C ₂ H ₃ N	81.6	-46	0.786	M	0.460	0.65	20	97	3.5	37.5	0.34
3-pentanol	C ₅ H ₁₂ O	115.3	-8	0.821	5.1	0.463			8.8*	1.7	13.3	
2-pentanol	C ₅ H ₁₂ O	119.0	-50	0.810	4.5	0.488			6.1*	1.7	13.7	3.5
2-butanol	C ₄ H ₁₀ O	99.5	-114.7	0.808	18.1	0.506		100	18.3*	1.7	17.3	3.1
cyclohexanol	C ₆ H ₁₂ O	161.1	25.2	0.962	4.2	0.509		50	1.2	1.9	15	
1-octanol	C ₈ H ₁₈ O	194.4	-15	0.827	0.096	0.537				1.7	10.3	7.4
2-propanol	C ₃ H ₈ O	82.4	-88.5	0.785	M	0.546	0.82	400	44	1.66	19	2.07
1-heptanol	C ₇ H ₁₆ O	176.4	-35	0.819	0.17	0.549				1.7	12	6.0
t-butanol	C ₄ H ₁₀ O	107.9	-108.2	0.803	8.5	0.552				1.8	17.9	6.68
1-hexanol	C ₆ H ₁₄ O	158	-46.7	0.814	0.59	0.559			0.22*		12.5	4.6
1-pentanol	C ₅ H ₁₂ O	138.0	-78.2	0.814	2.2	0.568			2.2*	5.7	14	3.5
acetyl acetone	C ₅ H ₈ O ₂	140.4	-23	0.975	16	0.571			3	3.0	23	
ethyl acetoacetate	C ₆ H ₁₀ O ₃	180.4	-80	1.028	2.9	0.577			0.78*			
1-butanol	C ₄ H ₁₀ O	117.6	-89.5	0.81	7.7	0.586		20	6.3	1.7	17.5	2.59
benzyl alcohol	C ₇ H ₈ O	205.4	-15.3	1.042	3.5	0.608			0.094*	1.7	13	5.47
1-propanol	C ₃ H ₈ O	97	-126	0.803	M	0.617	0.82		21*	1.68	22	1.95
acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	118	16.6	1.049	M	0.648	>1	10	15.3	1.68	6.2	1.12
2-aminoethanol	C ₂ H ₇ NO	170.9	10.5	1.018	M	0.651		3	0.53	2.3 - 2.6	37.7	20.8
ethanol	C ₂ H ₆ O	78.5	-114.1	0.789	M	0.654	0.88	1000	59	1.7	24	1.08
diethylene glycol	C ₄ H ₁₀ O ₃	245	-10	1.118	M	0.713			0.027	2.3	31.8	30.2
methanol	CH ₄ O	64.6	-98	0.791	M	0.762	0.95	200	128	1.6	33	0.54
ethylene glycol	C ₂ H ₆ O ₂	197	-13	1.115	M	0.790	1.11			2.3	37.7	16.1
glycerin	C ₃ H ₈ O ₃	290	17.8	1.261	M	0.812				2.7	42.5	934
water, heavy	D ₂ O	101.3	4	1.107	M	0.991			15	1.84	78.3	1.10
water	H ₂ O	100.00	0.00	0.998	M	1.000	>>1		17.5	1.85	80.1	0.89

1.3.6. DESTILACIÓN REACTIVA

La combinación de una reacción química y una destilación en un mismo mecanismo es denominada destilación reactiva “DR” (Perry, 1997) es decir, en una columna convencional de destilación con platos se lleva a cabo una reacción química y la separación de productos y/o subproductos. Este tipo de proceso puede favorecer la conversión para reacciones que se ven limitadas por su equilibrio químico debido a que a medida que los productos se forman, se remuevan continuamente para aumentar la conversión de la reacción (Rosales, 2004).

Debido a la complejidad de los procesos de destilación reactiva, cada caso se debe analizar por separado, esto es debido a que existen diferentes tipos de reacción y cada una de ellas tiene un comportamiento diferente.

Una columna de destilación reactiva está constituida principalmente por tres zonas: zona de rectificación, zona reactiva y de zona de agotamiento.

Las ventajas y desventajas de la destilación reactiva son las siguientes (Kulprathipanja, 2002)

- Volatilidad: Debido a que en el proceso de destilación reactiva se requiere que los productos formados sean removidos para aumentar la conversión de la reacción, es importante que los reactivos y productos tengan volatilidades adecuadas para mantener altas concentraciones de reactivos y bajas concentraciones de productos en la zona de reacción.
- Tiempo de residencia: Para reacciones con tiempo de residencia largo, se necesitará una columna demasiado grande, por lo tanto, podría ser más económico usar el arreglo convencional reactor-separador.
- Planta a escala: Debido a los problemas de distribución de líquidos en una columna es difícil diseñar procesos de destilación reactiva para flujos grandes, esto podría ser considerado como una desventaja en algunas aplicaciones.

- Condiciones de proceso: En algunos procesos las condiciones óptimas de temperatura y presión para una destilación pueden estar muy lejos de las condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción y viceversa, por lo tanto, es necesario conocer datos sobre las condiciones de operación del proceso en estudio.

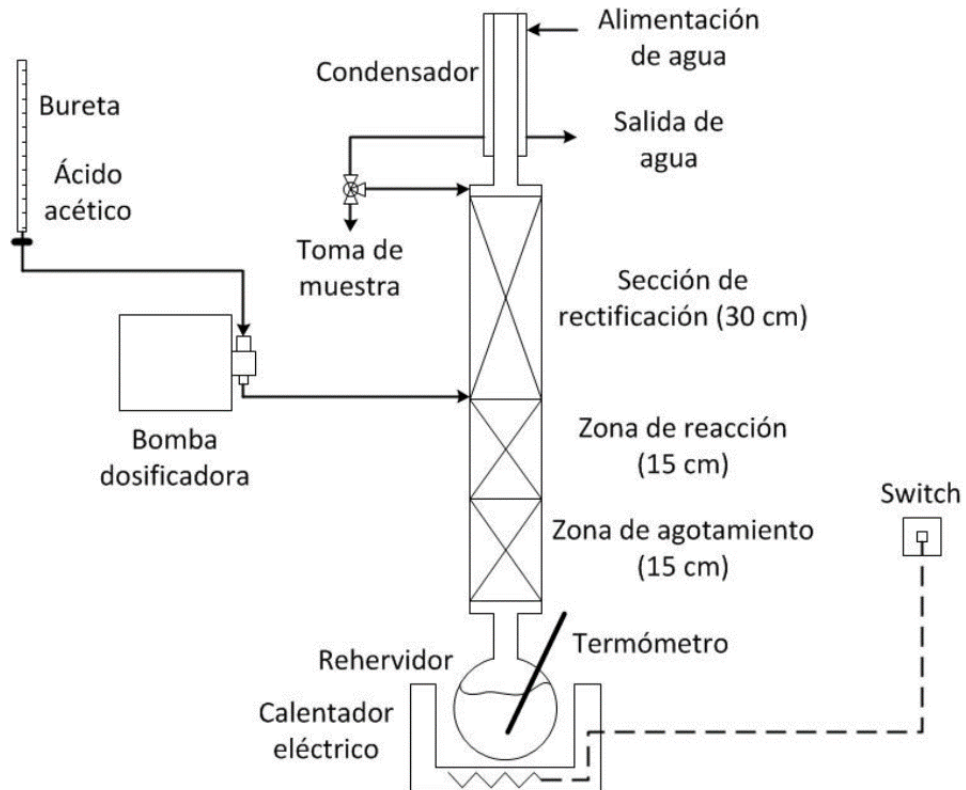


Figura 15. Esquema de destilación reactiva para la producción de acetato de etilo a escala laboratorio (Del Rio Segovia, 2016)

1.4 APLICACIONES INDUSTRIALES

La destilación es una de las operaciones de separación más utilizadas en la industria química. Una torre de destilación puede encontrarse desde un proceso que involucre la purificación de un alcohol hasta la refinación de petróleo para ser separados en sus diferentes fracciones (McCabe, 1996)

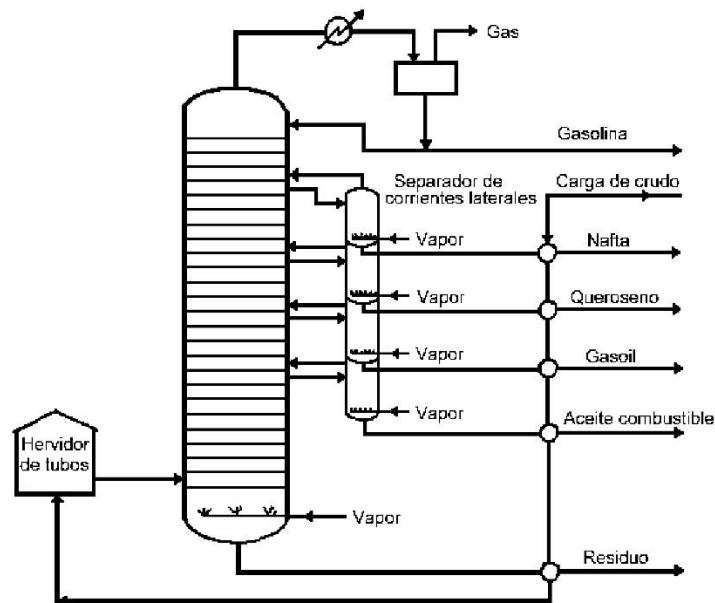


Figura 16. Proceso de destilación de Petróleo en una etapa (Mondragón Aguilar, 1994)

1.5 APLICACIONES MAS RELEVANTES

Como se vio a través de las secciones anteriores de este capítulo las técnicas de transferencia de materia pueden ser muy variadas y pueden llegar a hacer uso de medios mecánicos, físicos y químicos para tratar de lograr que algún compuesto de una sustancia sea transferido a otro compuesto o medio, las aplicaciones prácticas que surgen de purificar algún compuesto de origen animal o vegetal son muy variadas actualmente, pero es fácil dividirlos en 4 grupos principales que son:

- La herbolaria
- La farmacéutica
- La perfumería
- Alimenticia

Ya que son ramos de aplicación industrial que necesitan como materia prima muchos de los productos purificados que pueden ser obtenidos por los procedimientos presentados con anterioridad (Wankat, 2009).

1.5.1 HERBOLARIA

Aquí nos referimos a la ciencia o técnica de recolección y tratamiento de las diferentes plantas que, por sus propiedades medicinales, son utilizadas con el fin de remediar algún padecimiento clínico (Volak & Stodola, 2013). Siendo que estas propiedades se presentan al ser consumidas ya sea de forma interna o externa por el ser humano, siempre y cuando se cumpla con algunas técnicas de recolección, preparación, secado y conservación de la planta intentando que sus principios activos no se vean reaccionados o degradados por el efecto de alguna plaga, moho o incluso por degradación química debido a su exposición directa por el sol, por ejemplo (Volak & Stodola, 2013).

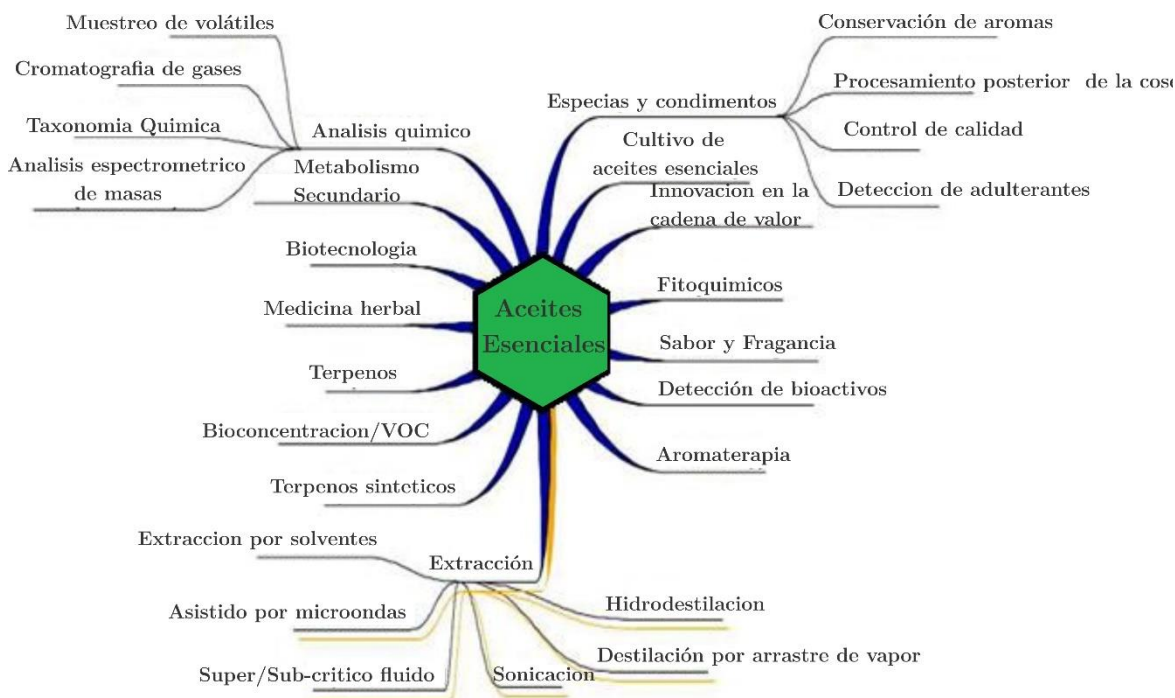


Figura 17. Mapa mental de las áreas de trabajo en los aceites esenciales (Rassem, Nour, & Yunus, 2016)

Existen dos tipos de sustancias activas en las plantas medicinales: los productos del metabolismo primario (sacáridos principalmente), que son sustancias formadas en todas las plantas verdes gracias a la realización de la fotosíntesis y que les resultan indispensables para vivir; el segundo tipo de sustancia está compuesto por productos del metabolismo secundario; es decir resultantes de procesos originados principalmente por la asimilación del nitrógeno. Estos productos parecen a veces inútiles para la planta por lo que se consideran como un producto secundario, pero sus efectos terapéuticos son por el contrario destacables en algunos casos. Se trata por ejemplo de aceites esenciales, vitaminas o esencias naturales (Volak & Stodola, 2013). Los componentes principales de estos aceites son mezclas muy complejas de compuestos volátiles. Una definición científica del término aceite esencial o volátil no es plausible, aunque muchas definiciones practicas existen (Rassem, Nour, & Yunus, 2016).



Figura 18. Aceites esenciales de origen vegetal en frascos para su almacenamiento (Alamy Ltd, 2019).

La rama de la fitoterapia está interesada en las plantas con propiedades curativas, ya que se ofrece un tratamiento por medio de plantas o sustancias de origen vegetal. Ha logrado de manera significativa permanecer dentro de las opciones de médicos alternativos el tratamiento a través de medicina natural ya que la sustancia activa no es únicamente un compuesto químico, sino que presenta además un equilibrio fisiológico, que resulta en un compuesto más asimilable por el organismo que uno de origen sintético y además carece de efectos nocivos. Esta es la gran ventaja de la medicina natural (Chevallier, 1997). Esta medicina natural también llamada medicina alternativa es capaz de cumplir con un amplio rango de antídotos y curas eficaces para el ser humano debido a que las plantas con las que se da el tratamiento o con alguno de sus compuestos vegetales cuentan con efectos

medicinales. La naturaleza química de los aceites esenciales de las plantas determina su efecto terapéutico sobre el humano, las ventajas del aceite esencial son que ellos concentran el aroma y sabor de sus fuentes correspondientes, la mayoría de ellos son bastante estables y contienen antioxidantes naturales y agentes antimicrobianos (Rassem, Nour, & Yunus, 2016). Se las suele dividir según su campo de actuación, como puede verse en la Tabla 9.

Tabla 9. Principales grupos de plantas medicinales y su función en el ser humano (Volak & Stodola, 2013)

GRUPO	FUNCIÓN
Amara (plantas amargas)	Influencia gástrica
Adstringentia	Acción antiinflamatoria
Antiphlogistica	Reducen la inflamación y aceleran la renovación de los tejidos dañados
Carminativa	Influencia benéfica sobre la evacuación de gases
Diaphoretica(sudoríficas)	Facilitan la transpiración
Antidiaphoretica	Reduce la transpiración excesiva
Diurética	Favorecen la eliminación de la orina
Anteitussica (calmante de la tos)	planta expectorante
Cardiotónica	contiene grandes cantidades de glucósidos vegetales de acción cardiotónica acelera el ritmo cardiaco
Nervina y Sedativa	son sustancias calmantes
Antisclerotica	ejercen una acción favorable sobre el conjunto de las alteraciones degenerativas del sistema circulatorio que afectan al ser humano
Hypotensiva	actúan sobre su hipertensión sanguínea, es decir es de acción benéfica sobre la regulación de trastornos de la actividad regulador-sanguínea
Aromática	son útiles para corregir el sabor u olor de otra sustancia, producción parcial de efectos antisépticos
Anthelminthica (anti-lombrices)	acción eficaz contra las lombrices intestinales
Antidiabética	efecto favorable sobre la producción insuficiente de insulina en el páncreas
Gynecologica	atenuadores de calambres de células musculares lisas de la pelvis y reductor de dolor menstrual

Obstipantia	eficaz como el excesivo peristaltismo
Cytostatica	contienen sustancias de acción antitumoral
Venena (venenos vegetales)	grupo especial que contiene sustancias tóxicas de origen químico o vegetal capaces de surtir efecto sobre el organismo del ser humano, siendo susceptibles de dañarlo dependiendo de la sustancia activa y de la dosis

Este amplio rango de sustancias activas es capaz de ayudar al ser humano y muchas veces como se mencionó anteriormente es necesario someter a las plantas o sustancias de origen vegetal a ciertas técnicas de tratamiento para poder hacer uso de alguna de estas preparaciones medicinales es aquí donde la medicina tradicional se llegó a convertir en la farmacéutica moderna, aunque algunas veces se le continúa llamando farmacia galénica al uso de estos preparados o remedios a base de vegetales. El estudio de las sustancia benéficas que se encuentran relacionadas dentro de vegetales continua con mucho camino por delante y los sistemas electrónicos que beneficien a los procesos que permitan extraer estas sustancias ; es por eso que este sistema electrónico está intencionado con un propósito general para ser capaz de implementarse dentro de diferentes técnicas de destilación, ya que es necesario que se continúe con el desarrollo tecnológico de estos sistemas dentro de todas las ramas de estudio capaces de aportar beneficios a la humanidad.

1.5.2 FARMACEUTICAS

Los laboratorios farmacéuticos modernos están muy bien equipados desde el punto de vista técnico. Dentro de ellos podemos encontrar máquinas para la fabricación de comprimidos, homogeneizadores, mezcladoras, extractoras, centrifugadoras, así como un sin fin d equipos electrónicos que permiten obtener, incluso a partir de plantas o animales además de compuestos inorgánicos, remedios eficaces para el ser humano (Volak & Stodola, 2013).



(a)



(b)

Figura 19. a) Micro centrifugadora vista panorámica (PCE Deutschland, 2019). b) Receptáculo para tubos de centrifugación (PCE Deutschland, 2019)).

Cómo se mencionó anteriormente los medicamentos se encuentran compuestos principalmente por productos químicos que se encuentran disponibles en la naturaleza, los métodos de separación y purificación que hemos visto anteriormente han sido utilizados desde la antigüedad para realizar diferentes remedios que pueden ser de administración o aplicación interna o externa , en la farmacéutica moderna muchas sustancias químicas complejas solo son posibles de elaborar a través de sistemas electrónicos que controlen las variables de una forma exacta para que estos medicamentos sean eficaces

1.5.3 ESENCIAS

La industria de aromaterapia y perfumería modernas hace uso de complejos productos orgánicos como lo son los obtenidos a través de los procesos mencionados como los principales métodos de transferencia de materia, algunos de los compuestos de interés para estas industrias son aquellos compuestos con propiedades aromáticas es decir que excitan o le son agradables al sentido del olfato, muchos compuestos orgánicos vegetales son la fuente principal de sus materias primas para elaborar soluciones aromáticas comerciales. Es usual que estas industrias cuenten con sistemas electrónicos automáticos para controlar ciertas variables de interés, no será difícil imaginar algún proceso que requiera tener análisis de temperatura y medición y a través de ello se desencadenen ciertos procesos industriales. nuestro sistema de destilación puede ser utilizado para este tipo de procesos. Muchas esencias

naturales actualmente son utilizadas con el fin de dar vida a jabones , cremas, pomadas, y polvos por decir solo algunos y es por esto que los sistemas de destilación continúan siendo necesarios dentro de estas fábricas, los diferentes tipos de destilación serán los que permitan seleccionar algún tipo de compuesto líquido para separarlo y procesarlo, lo efectos terapéuticos a diferencia del comportamiento de sus productos de síntesis química, las sustancias que se extraen a través de organismos vegetales o animales raramente producen efectos secundarios tales como las reacciones alérgicas, no puede decirse algo parecido de algunos cosméticos comerciales (Volak & Stodola, 2013).

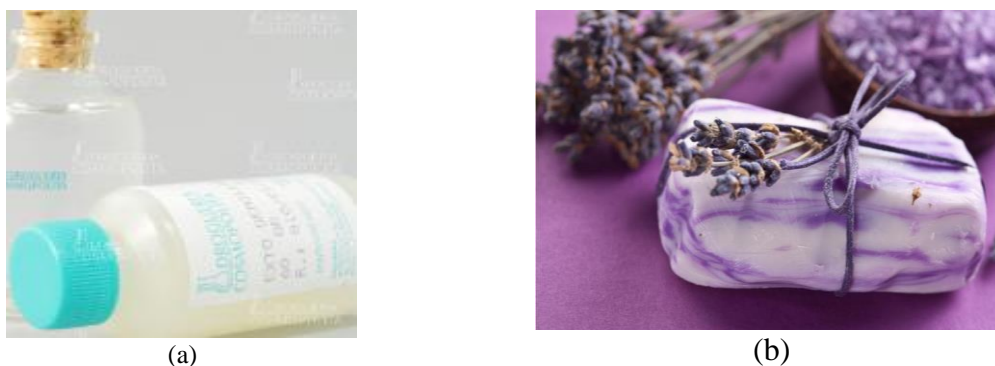


Figura 20. a) *Extracto de semillas de manzana (Malus domestica) de uso como activo cosmético* (Cosmotienda, 2019). b) *Jabones artesanales de lavanda* (Ecologiaverde, 2019).

En efecto, la mayoría de las materias sintéticas no participan en el metabolismo ni en la regeneración de las células o tejidos del cuerpo, y una exposición prolongada de estos productos sintéticos son incluso capaces de originar envenenamientos o reacciones tóxicas. por el contrario, todas las sustancias vegetales, se caracterizan por sus efectos terapéuticos cuando son aplicados en forma adecuada (Volak & Stodola, 2013).

Los preparados cosméticos que son elaborados principalmente de plantas pueden ser empleados por el ser humano a través de una confirmación del principio de fisiología cosmética, según el cual el cuerpo humano refleja el estado general del organismo y de su metabolismo, en pocas palabras describe el equilibrio del sistema hormonal (Chevallier, 1997).

1.5.4 ALIMENTOS

La alimentación es un aspecto muy significativo dentro de la vida cotidiana del ser humano, esta industria es una de las más importantes dentro de los rasgos económicos de un país debido a que el efecto positivo o negativo dentro del desarrollo de un ser humano debido a su alimentación tiene alta relevancia. Figura 21a, es conocido de hace mucho tiempo que la incorporación de productos de origen vegetal a la alimentación producen un efecto positivo sobre el metabolismo, los extractos de plantas producen una sensación general de bienestar físico y mental para el organismo, además de un largo y profundo sueño, son factores de buena salud del cuerpo humano. Los efectos regenerativos de vitaminas y aceites esenciales. Figura 21b los hacen reconocer como excelentes productos.



(a)



(b)

Figura 21. a) Almidón de maíz comercial, aditivo alimenticio (El nogal, 2019). b) El Aceite Graso de Olivo Extra-Virgen, alto contenido de vitamina E (Cosmotienda, 2019)

CAPÍTULO 2: TARJETA DE CONTROL Y SENSORES

Como en el capítulo anterior se ha mencionado las técnicas de destilación, ahora que tenemos un panorama bastante completo de como son los procesos de transferencia de materia, podemos empezar a seleccionar las variables de interés. En este segundo capítulo abordaremos los temas de diseño electrónico desde un enfoque integral, teniendo consideración del circuito a diseñar, comenzaremos con una descripción de los componentes que se requieran para satisfacer las condiciones de funcionamiento; además de contemplar dentro del capítulo las formas de alimentar a nuestro sistema de una manera eficaz y cómo diseñar un circuito impreso.

2.1 TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA

En la actualidad se tiene un amplio conocimiento sobre la termodinámica y cómo interactúan las partículas entre sí, así que para comenzar con nuestra clasificación de sensores de temperatura necesitamos asegurar evitar confusiones entre la palabra y su significado, aquí expondremos algunas definiciones de temperatura, debido a que requerimos conocer la temperatura de nuestro sistema total, además de ser una variable de gran importancia dentro de los procesos electrónicos, ya que presentaran alguna influencia sobre nuestros componentes.

1.-**La Temperatura** es la consecuencia fundamental del equilibrio térmico en conjunción con la Ley Cero es que nos permite definir (empíricamente) el concepto de temperatura. Decimos: cuando dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico tienen la misma temperatura. Y al revés también, la temperatura es aquella cantidad que nos indica que dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico. La Ley Cero nos dice que la temperatura no es una propiedad solamente del equilibrio térmico entre dos cuerpos, sino que la podemos considerar como una función del estado termodinámico y que tiene el mismo valor para todos los cuerpos en equilibrio térmico entre ellos y viceversa (Romero Rochín, 2019).

2.-**La temperatura** de un cuerpo es una medida de su capacidad de transferir calor. El calor es una forma de transferir energía. Esa transferencia ocurre cuando hay desequilibrio térmico, es decir cuando una de las partes entre las que tiene lugar esa transferencia “está más caliente” que otras. Temperatura, por lo tanto, es una propiedad de los cuerpos, que no se puede disociar de la materia tangible, mientras que calor es energía y puede existir independientemente de la materia. La temperatura es una medida de la capacidad de emitir calor, o sea que cuanto más caliente está un objeto, es decir cuanto mayor sea su temperatura, mayor es su capacidad de intercambiar calor con el medio que lo rodea, siempre que la temperatura del medio sea distinta. El concepto de temperatura es análogo al de potencial eléctrico, porque cuanto mayor es la diferencia de temperatura entre dos puntos tanto mayor será el flujo de energía en forma de calor; en el caso del potencial eléctrico, el flujo de electricidad es proporcional a la diferencia de potencial eléctrico (A. Rodriguez, 2019).

3.-**La temperatura** es un estado termodinámico de un cuerpo que distingue a un cuerpo caliente de uno frío. La temperatura de un cuerpo es proporcional a la energía molecular almacenada, es decir, la energía cinética molecular promedio de las moléculas en un sistema. (Una molécula particular no tiene una temperatura, tiene energía. El gas como un sistema tiene temperatura) (Rajput, 2011).

Una vez explicado el concepto de temperatura nos podemos enfocar en el tema principal que es conocer los tipos de sensores de temperatura, se les puede encontrar en el mercado nacional o extranjero, pueden ser de medición por contacto directo o a distancia para las muy altas temperaturas, también los hay encapsulados y en circuito integrado, con interfaces de comunicación con microcontroladores y más, por lo que nosotros debemos de tener en cuenta qué necesidades vamos a cubrir con ellos, dentro de nuestro sistema planteamos cubrir las siguientes necesidades que son poder obtener la medición directa del tanque de almacenamiento de líquidos y que pueda medir en un rango de temperaturas de entre 0°C – 100°C ya que está planeado utilizar agua para hacerla recircular por el sistema de destilación y también se requiere de obtener la medición de la temperatura que haya en la manta calefactora(matraz bola) y en la cabeza de destilación y así poder conocer esta propiedad del sistema en sus diferentes fases, la primer fase será en fase líquida dentro del hervidero y la

segunda será en fase gaseosa para conocer la temperatura del vapor en la cabeza de destilación (Wankat, 2009), estas dos últimas mediciones requieren de disponer de un rango mayor ya que podrían tratar de separarse mezclas con una temperatura de vapor (punto de evaporación) muy alta por lo que se decidió dar un rango de temperaturas de entre 0°C – 500°C . Ahora conocemos las restricciones debidas al rango de temperatura, pero aún hay más y estas son las debidas a el medio de trabajo, la medición dentro del tanque de almacenamiento deberá ser directamente en el líquido por lo que deberá de ser capaz de sumergir el termómetro y en las mediciones restantes se requiere que los sensores no entren en contacto directo con la mezcla líquido—vapor ya que podría ser un medio abrasivo o podría ser una probable fuente de contaminación para la mezcla. Una restricción más es la longitud del cable y su material de construcción ya que no podemos exponer al sistema electrónico a estar en contacto con líquidos o a temperaturas elevadas, ya que estas condiciones podrían causar un funcionamiento inesperado o dañar permanentemente al equipo.

2.1.1 TIPO DE TERMOPARES

Sabemos que hablamos de algún tipo de sensor capaz de medir la temperatura, pero antes de entrar en una clasificación de estos sensores explicaremos que son: Consiste en dos metales diferentes unidos por un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría se produce un voltaje que se podrá correlacionar con la temperatura.

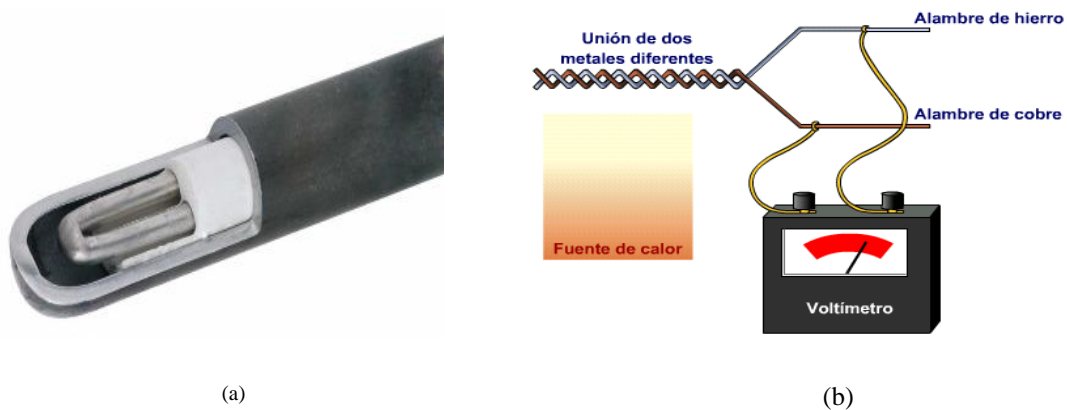


Figura 22. a) Termopar mostrando su constitución interna (WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, 2019).b). Representación de medición de voltaje de salida de un termopar (Fundacion Wikipedia, Inc., 2019)

Características que se deben de tener en mente al seleccionar un dispositivo de esta clase, son:

- Rango de temperatura.
- Resistencia química del termopar o material de la funda.
- Resistencia a la abrasión y la vibración.
- Compatibilidad con el sistema electrónico.

Tabla 10. Tipos de termopar (JMIndustrial Technology S.A. de C.V., 2019)

Tipo de termopar	Composición química	Rango de aplicación usual(°C)	Observaciones
B	Platino 30% Platino 6% Rodio (+) Rodio (-)	1370 a 1700	Fácilmente contaminado, Requiere protección.
C	Tungsteno 5% Tungsteno 26% Rodio (+) Rodio (-)	1650 a 2315	Sin resistencia a la oxidación. Vacío, hidrógeno o atmósferas inertes.
E	Cromel (+) Constantán (-)	95 a 900	No someterlo a la corrosión en temperaturas criogénicas.
J	Cromel (+) Constantán (-)	95 a 760	Recomendado en atmósferas reductoras. El cable de fierro se somete a la oxidación en altas temperaturas.
K	Cromel (+) Alumel (-)	95 a 1260	Satisface en atmósferas oxidantes
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	650 a 1260	Para uso general
R	Platino 10% Platino (-) Rodio (+)	870 a 1450	Recomendado para atmósferas oxidantes
S	Platino 10% Platino (-) Rodio (+)	980 a 1450	Fácilmente contaminado, requiere protección.
T	Cobre (+) Constantán (-)	-200 a 350	Recomendado en atmósferas reductoras, temperaturas criogénicas.

Tabla 11. Límites de error (JMIndustrial Technology S.A. de C.V., 2019)

Tipo de termopar	Temperatura °C	Observaciones	
		Grado Estándar	Grado Especial
T	0 a 350	$\pm 1.0^{\circ} \text{C}$ o $\pm 0.75\%$	
J	0 a 760	$\pm 2.2^{\circ} \text{C}$ o $\pm 0.75\%$	
E	0 a 900	$\pm 1.7^{\circ} \text{C}$ o $\pm 0.5\%$	
K	0 a 1250	$\pm 2.2^{\circ} \text{C}$ o $\pm 0.75\%$	
R	0 a 1450	$\pm 1.5^{\circ} \text{C}$ o $\pm 0.25\%$	
S	0 a 1450	$\pm 1.5^{\circ} \text{C}$ o $\pm 0.25\%$	
B	870 a 1700	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0^{\circ} \text{C}$ o $\pm 0.75\%$
N	0 a 1250	$\pm 2.2^{\circ} \text{C}$ o $\pm 0.75\%$	

Ahora que hemos descrito que un termopar es una unión de dos metales y que podemos distinguir qué tipos de metales son los que se utilizan, las aplicaciones y observaciones generales de cada uno de estos, podríamos hacer una elección de alguna clase de termopar para nuestra aplicación específica. Si examinamos al termopar “tipo J”, tiene un rango de aplicación aceptable, permite trabajar en presiones reducidas y tiene un grado de error aceptable, aunque algo fundamental es que los termopares nos proporcionan una respuesta en milivolts y por esto será necesario un circuito para poder modificar y utilizar esa señal para realizar alguna acción con los datos obtenidos a través del termopar.

Se trató al termopar por ser un dispositivo termoeléctrico sin ningún control electrónico y se continuará con los siguientes elementos que cuentan con características diversas, aunque algo en común entre todos los dispositivos es su fácil comunicación con algún microcontrolador, sobrepasa los límites de este libro dar una explicación profunda acerca de todos los tipos de comunicación que ofrecen estos sensores.

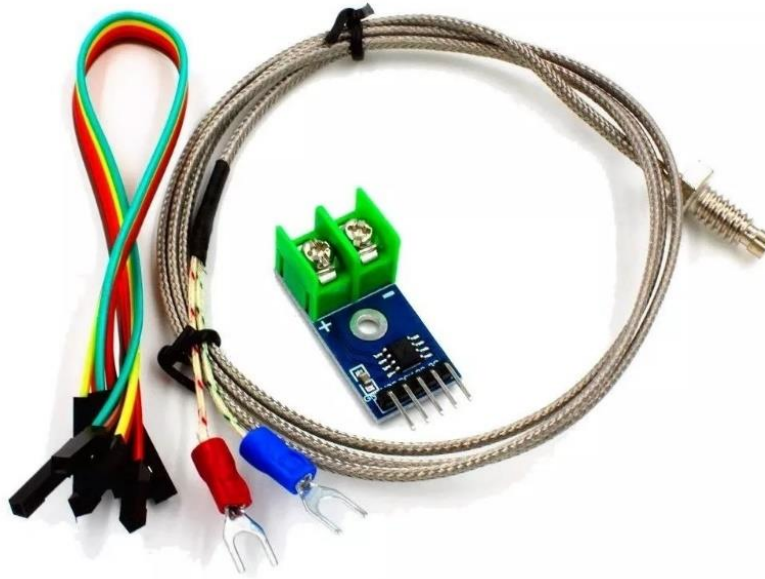


Figura 23. Modulo Max6675 con Termopar tipo ‘K’ (GEEKFACTORY, 2019)

2.1.2 SENSOR DE TEMPERATURA LM35

Este será el primer dispositivo electrónico, que se emplea como sensor de temperatura, dentro de la hoja de datos emitida por el fabricante podemos obtener la información más fiable acerca de los diferentes dispositivos electrónicos y usaremos como premisa el consultar como mínimo las partes referentes a:

- Valores máximos absolutos
- Condiciones de operación recomendadas
- Información térmica (Thermal)
- Características eléctricas

Aunque se hace obligatorio para el lector el conocimiento profundo de la hoja de datos de todos los dispositivos para lograr que todas las referencias sean correctamente comprendidas basándose siempre en las hojas de datos de los fabricantes. Los dispositivos de la serie LM35 son circuitos integrados de precisión con la aplicación típica de sensores de temperatura con

una salida de voltaje linealmente proporcional a la temperatura registrada por el dispositivo directamente en grados Celsius.

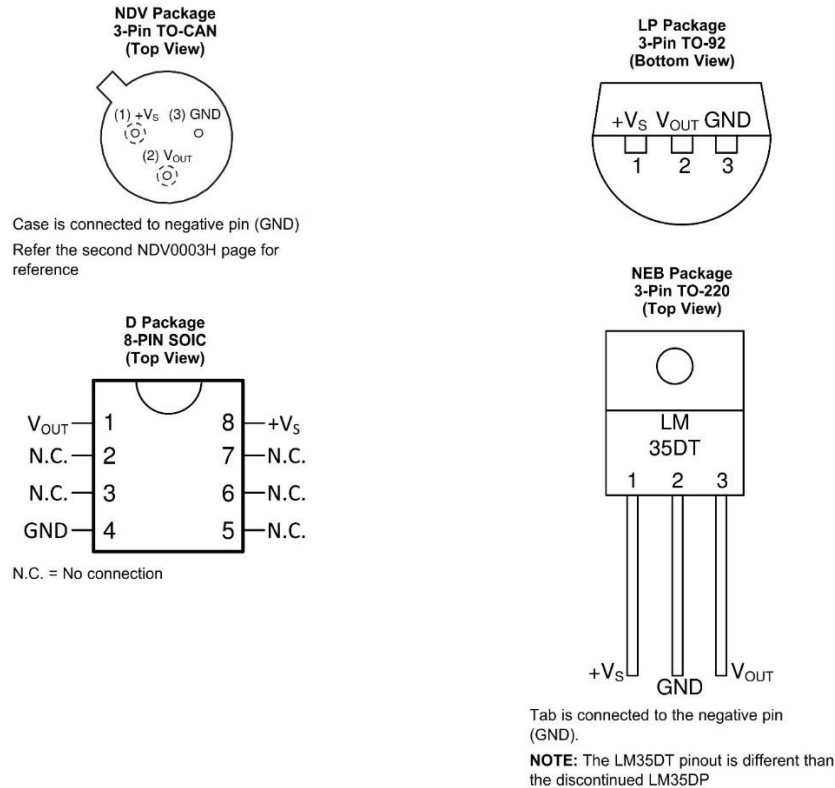


Figura 24. Configuración de pines y empaques disponibles para el LM35 (Texas Instruments Incorporated, 2019)

Dentro de las primeras características que podemos definir de este dispositivo se encuentra la disponibilidad de empaque *TO – 220* esto nos da una idea clara de las dimensiones y el aclarar que aunque es un dispositivo electrónico su salida será analógica, su alimentación de voltaje dentro de las condiciones de operación recomendada es de $+V_S$ 4 – 30 Volts y dependiendo de las variantes disponibles de este dispositivo logramos obtener en el de rango más amplio disponible una temperatura de operación de $-55 – 150$ °C, además de que si supusiéramos trabajar dentro de este rango de temperatura de operación el dispositivo tienen una eficacia de 1°C como error máximo o como se define dentro de las hojas de datos la precisión está definida como el error entre el voltaje de salida y la señal esperada, la señal de salida será de $10\text{ mV}/^\circ\text{C}$. El rango de temperatura del dispositivo se encuentra dentro de los

La eficiencia especificada a través de la hoja de datos se puede obtener a través de esta función de transferencia lineal. Aunque hasta aquí todo ha sido halago hacia este circuito debido a que nos hemos basado únicamente por el fabricante y a pesar de que dentro de la hoja de datos se presenta un sensor de escala completa 128°C con conversión digital de la salida del LM35 y permitiendo disponer de la señal en formato digital con salida serial, no es un dispositivo capaz de cubrir los requerimientos de ubicación ya que los empaques disponibles no permitirían una forma fácil de adquirir la señal una vez que el equipo se encuentre en funcionamiento sin comprometer la integridad del dispositivo.

2.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

El termómetro digital DS18B20 proporciona mediciones de temperatura en escala Celsius con una definición de *9-bits* hasta *12-bits*, lo que implica una gran referencia. Una de las características más importantes de este dispositivo es que se comunica a través de un bus 1-Wire que por definición requiere sólo de una línea de datos y tierra para lograr comunicación con un microcontrolador.

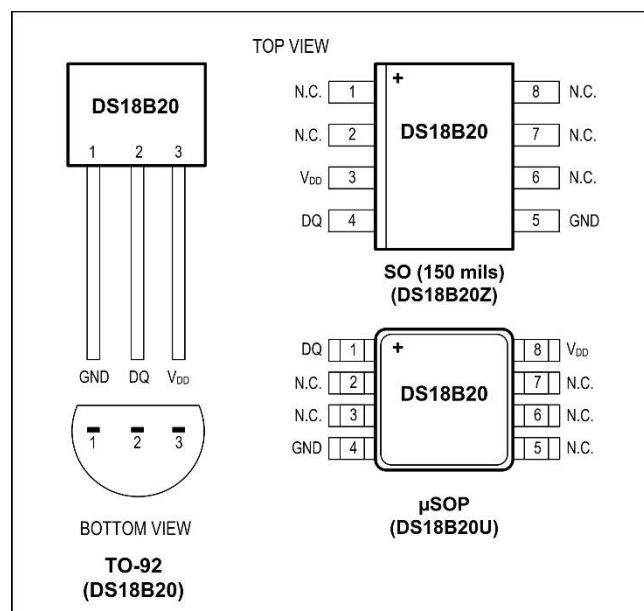


Figura 26. Configuración de pines y empaque (Maxim Integrated Products, Inc., 2019)

El dispositivo cuenta un rango de temperatura de operación de $-55^{\circ}\text{C} - 125^{\circ}\text{C}$, es necesario notar que la alimentación máxima para este dispositivo será de 5.5V y tendrá una resolución de 12 bits como formato predeterminado por el fabricante, aunque este dispositivo es capaz de programarse y modificar una gama alta de su característica.

Algunos de los rasgos característicos de este dispositivo son en primer término el hecho de que se encuentra disponible en forma de sonda sumergible, capaz de soportar medios de baja presión y ser capaz de sumergirse directamente en el líquido para la medición de su temperatura, aunque sólo se puede obtener con un recubrimiento plástico con el que la temperatura máxima será de 150°C y siendo probable que se vea comprometida la integridad del dispositivo, deberá de considerarse la ubicación y la forma de adquirir la señal como se verá con el avance del desarrollo del sistema, si se coloca un medio conductor cerca de algún objeto que transmite mucho calor será necesario modificar su ubicación ya que las altas temperaturas no sólo podrían presentar ruido en nuestra variable instrumentada sino que también se puede esperar un desgaste del recubrimiento y una falla futura.



Figura 27. Sensor de temperatura DS18B20 con encapsulado tipo sonda sumergible (AV Electronics, 2019)

Aunque será necesario el desarrollar un programa para comunicarnos con un microcontrolador para poder usar este tipo de sensor se debe de tomar consideraciones

especiales con este dispositivo por la gran escala de integración que cuenta y la eficacia en las mediciones que toma este dispositivo, como característica adicional es necesaria una resistencia de *pull-up* con un valor de 4.7K.

2.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA TC74

El pequeño sensor térmico digital TC74 cuenta con comunicación serial disponible y es adecuado para aplicaciones de bajo costo y tamaño pequeño nos mostrará la medición en formato de palabra de 8-bits.

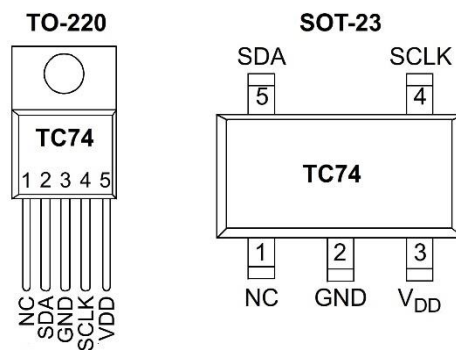


Figura 28. Configuración de pines y empaques disponibles (Microchip Technology Inc, 2019), nota en el empaque TO – 220 el pin de tierra está conectado al disipador integrado

Este dispositivo tiene la característica de suministro de voltaje de 2.7V – 5.5V, permitiendo tener una correcta alimentación con tan sólo 5V y con esto eliminar la necesidad de varios niveles lógicos dentro de nuestra placa para poder manejar a todos los dispositivos.

Al ser un dispositivo de alta escala de integración sus componentes discretos forman un sistema demasiado complejo como para analizar la interacción de las señales a través de cada uno de ellos por lo que el fabricante incorpora en la hoja de datos un diagrama de bloques funcional, que representara a cada uno de los subsistemas que se encuentran internamente conectados.

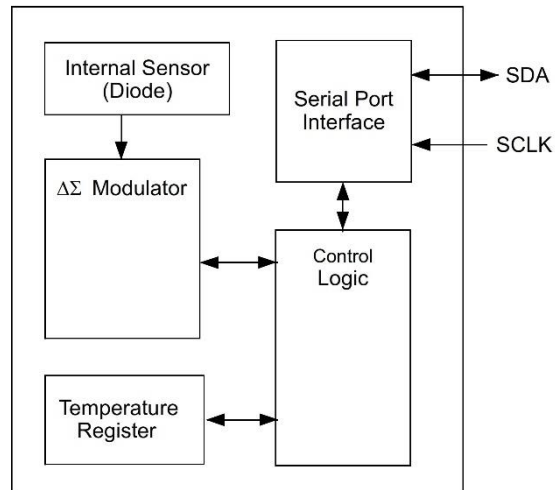


Figura 29. Representación del diagrama de bloques para el TC74 (Microchip Technology Inc, 2019)

Cuenta con un rango de temperaturas máximo de 0°C - $+125^{\circ}\text{C}$, pero teniendo en cuenta un factor de eficacia o precisión de la comunicación será serial, pero más específicamente nos comunicaremos a través de un protocolo I²C.

2.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA TC1047

Esta familia de dispositivos puede ser utilizada como sensores de temperatura con salida de voltaje lineal que necesitará ser procesada por un microcontrolador, puede medir precisamente en rangos de -40°C - $+125^{\circ}\text{C}$ y teniendo un consumo muy bajo de corriente de típicamente $35\mu\text{A}$. Como pudiere parecer a simple vista este dispositivo podría servir para colocarlo dentro de nuestro dispositivo dentro de todos los rangos de valores, pero el principal problema que nos encontramos es que este dispositivo sólo se encuentra disponible en el mercado con empaque *SOT – 23B*.

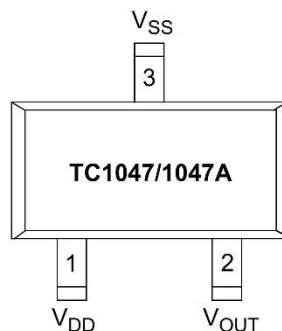


Figura 30. Sensor de temperatura TC1047 con encapsulado tipo SOT-23B nota los pines son equivalentes al TO-236 (Microchip Technology Inc, 2019)

Después de haber dado un recorrido por algunos de los dispositivos más populares actualmente y haciendo evidente las diferenciaciones entre cada uno de estos dispositivos, se hace notorio que en realidad la mayoría de los sensores térmicos que se encuentran en el mercado cubren con facilidad el rango de mediciones para el almacén del agua pero el rango que nos queda aún alejado es el de los sensores de altas temperaturas estas mediciones sólo pueden llegar a ser captadas y soportadas por sus materiales constitutivos serán los termopares de malla de acero inoxidable aunque siempre teniendo en cuenta que se debe de dar una protección contra los medios húmedos para evitar oxidaciones y que se presenten mediciones por perturbaciones o con una cantidad de ruido considerable como para poder hacer uso de su señal.

2.2 TIPOS DE BOMBAS DE AGUA

En esta sección abordaremos temas relacionados con la mecánica de fluidos y las maquinas hidráulicas. Esta rama de la mecánica estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio, hidrostática, y en movimiento, hidrodinámica (Mataix, 1993). Una maquina es un transformador de energía, estas máquinas son capaces de absorber energía de una clase y restituir energía de otra clase, para el ejemplo más simple imaginemos un motor eléctrico, consume energía eléctrica (C.D. o C.A) y la transforma en energía mecánica, aunque pueden ocurrir que consuma y restituya energía de la misma clase como podría ser un transformador, aunque la presentara en otro nivel (Chapman, 2012). Las maquinas donde el fluido es el receptor de energía serán las que analizaremos, estas máquinas serán de vital importancia en

nuestro dispositivo electrónico ya que será necesario hacer pasar algún fluido a través del condensador dentro del proceso de destilación para poder favorecer las condiciones que deseamos (Flor-M & Col, 2016). Las turbomáquinas hidráulicas incluyen a las bombas que son maquinas capaces de absorber energía mecánica y transferir energía hidráulica al líquido que fluye en su interior (Mataix, 1993). La clasificación de las bombas de agua será muy importante, más específicamente de las electrobombas de CC ya que tendremos en cuenta las necesidades del equipo, estamos en la necesidad de tener una corriente máxima de $500mA$ de consumo y que deberá contar como mínimo con una elevación de $2.5m$ para poder asegurar una buena conducción del flujo de agua además de tener en mente el caudal y el nivel de voltaje necesario para esta carga ya que al ser una carga principal dentro de nuestro dispositivo esta bomba será una limitante a sortear para poder construir nuestro circuito ya que esta nos comenzará a dar las necesidades que deberá cubrir nuestra fuente con los diferentes niveles de voltaje y la potencia máxima capaz de suministrar conservando una temperatura no superior a los $200^{\circ}C$ ya que este es un factor inherente a el material de construcción *PLA* debido a su punto de fusión, una vez que este es fundido al someterlo a su temperatura de fusión (derretimiento) por la impresora *3D* y tomar forma no debe de ser sometido a temperaturas cercanas a este punto de derretimiento puesto que el material podría sufrir deformaciones permanentes debido a esto, la temperatura máxima alcanzada por el disipador será una muy similar a la que alcanzará la protección del circuito, es decir la carcasa impresa en *3D*.

Definición de bomba en sentido de cambio de energía. La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica, esta energía puede provenir de un motor eléctrico o de combustión interna generalmente y la transforma en energía que es transferida a un fluido como potencial hidráulico, el cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel o a diferentes niveles y a diferentes velocidades (Mataix, 1993)

La variedad de opciones y marcas de bombas de agua actualmente es enorme y cada una cuenta con capacidades y potencias específicas para cada caso particular. Por eso es esencial entender el funcionamiento de estos equipos y conocer cuál puede ajustarse mejor a nuestra aplicación.

Iniciaremos con implementar una clasificación general con sus diferentes variantes para identificar los principales tipos que existen. Por su alimentación, por su uso, por su forma de transferir energía.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS

Estas máquinas hidráulicas se pueden clasificar en 2 grupos principales.

- Bombas rotodinámicas. Estas como su nombre lo indica son siempre rotativas. Su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; y su órgano transmisor de energía se llama rodete, la dinámica de la corriente de agua juega un papel esencial en la transmisión de energía.
- Bombas de desplazamiento positivo. En este tipo de máquinas hidráulicas la dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de la energía. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo. (Mataix, 1993)

2.2.1.1 TIPOS DE BOMBAS SEGÚN SU FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Existe una gran variedad de maneras de energizar a estos equipos que funcionan con electricidad (voltaje de CA y CC), combustible (nafta o gasoil), vapor, agua, sistemas hidráulicos o, inclusive, a gas natural. Pero para nuestros fines sólo haremos mención de los sistemas que podrían ser utilizados dentro de nuestro sistema y que sean eficientes para nuestras necesidades dentro del sistema electrónico.

2.2.1.1 ELECTROBOMBAS

Este tipo de bombas de agua requieren de energía eléctrica para funcionar, dependiendo de la variedad del motor eléctrico que sea el utilizado para impulsar el agua dentro y a través de la bomba será la variante de control que se podría implementar y que alimentación se deberá suministrar al sistema, dentro de las características principales de los equipos de A.C. es que

su potencia y prestaciones son usualmente para aplicaciones de alta demanda de suministro típicamente superiores a las necesidades hasta aquí planteadas, debido a que se propone hacer circular el agua a través de aparatos de cristal que podrían no soportar la presión si no se suministra un control eficiente y por lo tanto tomaremos como premisa el seleccionar una bomba con alimentación de corriente continua. En este grupo podemos encontrar a las bombas periféricas y a las centrífugas (Chapman, 2012).

2.2.1.2 BOMBA PERIFÉRICA

Esta máquina es básicamente la misma que la de la siguiente sección, la diferencia radica en que las bombas periféricas utilizan una turbina más chica. Este tipo de máquinas hidráulicas son muy útiles para el uso doméstico e industrial, como es el que a nosotros nos interesa.

2.2.1.3 BOMBA CENTRÍFUGA

Esta máquina actualmente es la más utilizada para bombear líquidos en general, estas máquinas son siempre rotativas y transforman la energía mecánica de un impulsor. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos alabes para conducir el fluido por su interior, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, La velocidad es generada a través de impulsos de energía extremadamente rápidos y potentes en el impulsor rotatorio, comunica potencia al fluido en forma de energía cinética.

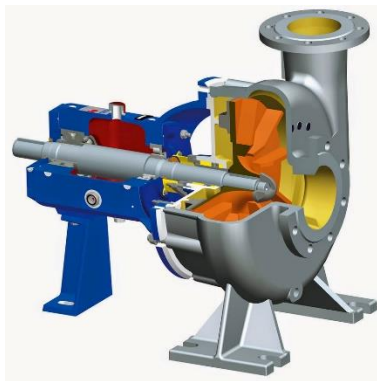


Figura 31. Bomba periférica con corte transversal (OPERADOR PETROLERO, 2019)

➤ Bombas centrífugas de flujo radial:

Se utilizan para cargas altas y caudales pequeños. El movimiento del fluido se inicia en un plano paralelo al eje de giro del impulsor de la bomba y termina en un plano perpendicular a este.

➤ Bombas centrífugas de flujo axial:

Estas bombas se usan para cargas pequeñas y grandes caudales. La energía se cede al líquido por la impulsión ejercida por los álabes sobre el eje de rotación. Son utilizadas para uso doméstico o agrícola. Son las de mayor producción mundial porque permiten movilizar mucha más cantidad de agua y esto es debido a la diferencia más grande y notoria físicamente, que es el tamaño de la turbina con respecto a las bombas periféricas (Mataix, 1993)

2.2.1.4 MOTOBOMBAS

Tienen un motor de combustión interna, lo cual les permite funcionar aun cuando no se cuenta con una fuente de suministro eléctrico, consumiendo combustible como la gasolina o el Diesel.

Lanzan caudal y presión al mismo tiempo y su funcionamiento depende del tipo y capacidad del motor. Son ideales para el suministro a de tanques de almacenamiento de alguna industria cuando se presenta un desastre natural y funcionan en forma de respaldo o para suministrar agua a lugares distantes, además pueden usarse para alimentar de electricidad una casa en caso de interrupción del suministro de energía de la red eléctrica como otro ejemplo.

2.2.2 TIPOS DE BOMBAS DE AGUA SEGÚN SU USO

Como venimos viendo, todas las turbomáquinas de nuestro interés son utilizadas para incrementar alguna de las propiedades del líquido añadiendo energía al sistema y, de esta manera, mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

2.2.2.1 BOMBA DE AGUA SUMERGIBLE

Usualmente son electrobombas y están fabricadas de modo que pueden sumergirse en un medio líquido y, mediante un impulsor interno, extraen y bombean fluido. Son las más utilizadas en los lugares donde se debe hacer una perforación y extraer agua de las capas subterráneas o cuando se requiere de hacer uso de una bomba dentro del tanque de almacenamiento.

Dependiendo del modelo y del fabricante, puede llegar hasta elevar el agua hasta más de 40 metros. Están diseñadas con una carcasa especial que las protege de la oxidación y corrosión y no dependen de la presión del aire para impulsar el líquido.

Este es el tipo de bombas que utilizaremos dentro de nuestro diseño, debido a que permiten trabajar con un amplio rango de profundidades y además algunas bombas como la que seleccionamos es capaz de soportar trabajar con fluidos sometidos a la alta temperatura, imagine lo que sucede dentro de la maquina hidráulica al ser sometida a fluidos atravesando su interior durante el periodo de operación, es fácil suponer que estos materiales al ser expuestos a la alta temperatura puedan sufrir deformaciones internas o externas de sus componentes esto sin duda alguna nos llevaría a tener un sistema próximo a sufrir una deformación critica que no permita que el rodete siga su trayectoria usual y simplemente no permita continuar impulsando el agua.



Figura 32. Bomba de agua caliente modelo Yosso Solar DC 12V (ShinyPiece, 2019)

2.2.2.2 BOMBA DE AGUA PARA TANQUE

Estos equipos se utilizan si lo que requerimos es subir el agua de red hasta el tanque de reserva que está a una elevación superior, esto ocurre cuando el agua de la red no tiene presión suficiente para llegar con buen caudal. La ventaja de estos aparatos es que son compactos y, dependiendo de su potencia, pueden impulsar el agua hasta una altura de 30 metros. Son ideales también para espacios pequeños. Están diseñadas para aguas limpias, aunque algunos tipos cuentan con un filtro previo de retención de sólidos para que no se dañe el equipo, es usual que el fluido seleccionado sea agua para enfriar los sistemas, se sugiere usar siempre agua destilada para evitar la formación de partículas sólidas que se puedan adherir o dañar al equipo no solo en este tipo de bomba sino en todas cuando sea posible.

2.2.2.3 BOMBA PRESURIZADORA DE AGUA BAJO TANQUE

Este tipo de electrobomba automática se usa para mejorar el flujo de presión. Se coloca a la salida del tanque de reserva ubicado en la parte alta de la red y su principal objetivo es ofrecer agua a presión para aplicaciones residenciales de varios servicios simultáneos.

Estos equipos se encienden cuando en la red existe una demanda de agua o cuando algún equipo que pide agua está activo. Cuando el flujo de agua requerido se acaba estos equipos cuentan con un sensor de caudal mínimo que lo desactiva. Se apaga porque no necesita más presión. Esto se traduce en un ahorro de tiempo significativo al momento de llenado de agua de los artefactos, así como un mayor confort evitando realizar tareas repetitivas.



Figura 33. Bomba presurizadora de agua, con sensor de caudal mínimo (Caymans SEO, 2019)

2.3 PANTALLA LCD

Dentro del diseño del sistema se ha decidido utilizar una pantalla LCD del tipo HD44780, con un número de líneas variable y un número de caracteres por línea también variable (por ejemplo, con 4×20) se trabaja con una matriz de 4 filas por 20 columnas cada una, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

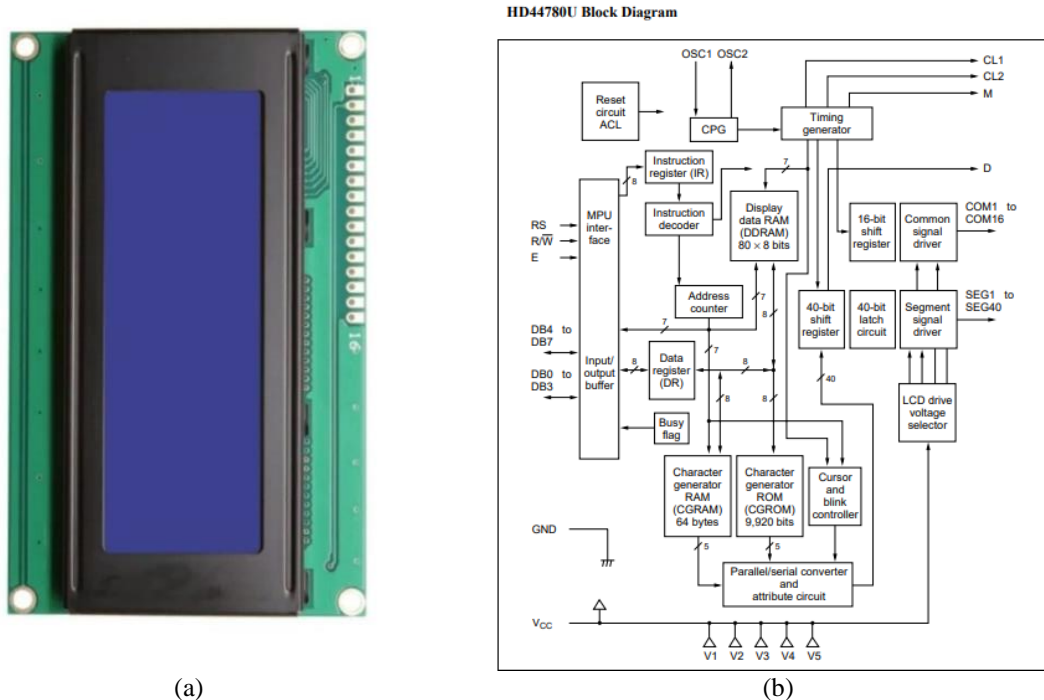


Figura 34. a) Pantalla LCD de 20 x 4 modelo tipo HD44780 de Hitachi b) Diagrama de bloques para la pantalla LCD (Hitachi, Ltd., 2019)

El display dispone de 16 líneas para su alimentación, control de contraste y para la comunicación con el microcontrolador cuenta con un bus de datos de 8 bits , aunque también existe la posibilidad de trabajar con 4 bits , aunque con un número menor de caracteres). Cada carácter consiste en una matriz de puntos de 5×8 . Cuando el LCD se inicializa está preparado para recibir caracteres. Si recibe un carácter lo escribe en el display y mueve el cursor a la siguiente posición. Los caracteres mostrados en el display se almacenan en la memoria DDRAM (Cándido Bariáin, 2019).

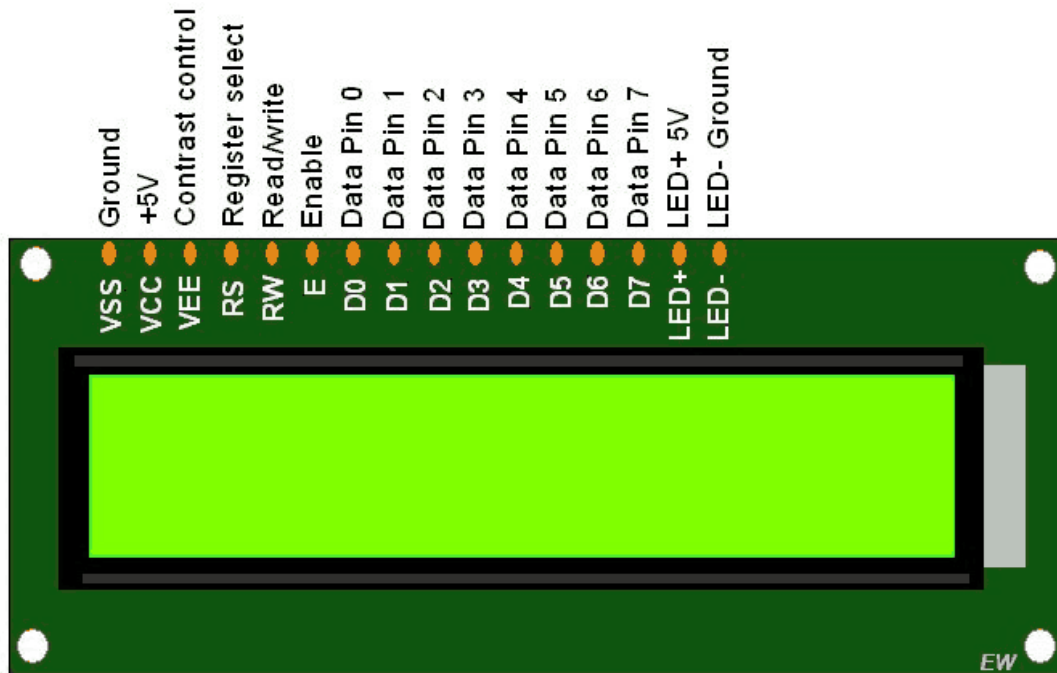


Figura 35. Configuración de pines para la pantalla LCD 20 x 4 (ElectronicWings, 2019)

El display contiene tres bloques de memoria:

- DDRAM a Dato de pantalla RAM
- CGRAM a Generador de Carácter RAM
- CGROM a Generador de Carácter ROM

Para mandar un carácter al display, se escribe en la DDRAM. La CGROM contiene las matrices de puntos del paquete de caracteres definido como predeterminado por el fabricante.

Cuando se envía una instrucción o un dato al display es necesario esperar un cierto tiempo antes de enviar el siguiente, para que el display pueda procesarlo adecuadamente. Esto se puede hacer monitorizando el flag de busy o respetando los tiempos de ejecución indicados por el fabricante (Breijo, 2019).

Tabla 12. Características de DC para la pantalla LCD examinada con $V_{CC} = 2.7$ a 4.5 V y $T_a = -30$ a $+75^\circ$ (Hitachi, Ltd., 2019)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition	Notes*
Input high voltage (1) (except OSC1)	VIH1	$0.7V_{CC}$	—	V_{CC}	V		6
Input low voltage (1) (except OSC1)	VIL1	-0.3	—	0.55	V		6
Input high voltage (2) (OSC1)	VIH2	$0.7V_{CC}$	—	V_{CC}	V		15
Input low voltage (2) (OSC1)	VIL2	—	—	$0.2V_{CC}$	V		15
Output high voltage (1) (DB0–DB7)	VOH1	$0.75V_{CC}$	—	—	V	$-I_{OH} = 0.1$ mA	7
Output low voltage (1) (DB0–DB7)	VOL1	—	—	$0.2V_{CC}$	V	$I_{OL} = 0.1$ mA	7
Output high voltage (2) (except DB0–DB7)	VOH2	$0.8V_{CC}$	—	—	V	$-I_{OH} = 0.04$ mA	8
Output low voltage (2) (except DB0–DB7)	VOL2	—	—	$0.2V_{CC}$	V	$I_{OL} = 0.04$ mA	8
Driver on resistance (COM)	R_{COM}	—	2	20	$k\Omega$	$\pm I_d = 0.05$ mA, VLCD = 4 V	13
Driver on resistance (SEG)	R_{SEG}	—	2	30	$k\Omega$	$\pm I_d = 0.05$ mA, VLCD = 4 V	13
Input leakage current	I_{LI}	-1	—	1	μA	$V_{IN} = 0$ to V_{CC}	9
Pull-up MOS current (DB0–DB7, RS, R/W)	$-I_p$	10	50	120	μA	$V_{CC} = 3$ V	
Power supply current	I_{CC}	—	150	300	μA	R_i oscillation, external clock $V_{CC} = 3$ V, $f_{OSC} = 270$ kHz	10, 14
LCD voltage	VLCD1	3.0	—	11.0	V	$V_{CC}-V_5$, 1/5 bias	16
	VLCD2	3.0	—	11.0	V	$V_{CC}-V_5$, 1/4 bias	16

2.4 TECLADO MATRICIAL

Las entradas a través de un pulsador como disparador de señal son muy habituales en los sistemas electrónicos, por supuesto también en los sistemas basados en microcontroladores, para trabajar con una mayor información o información alfanumérica por ejemplo se utilizan los teclados matriciales de 1×3 , 3×4 o 4×4 .

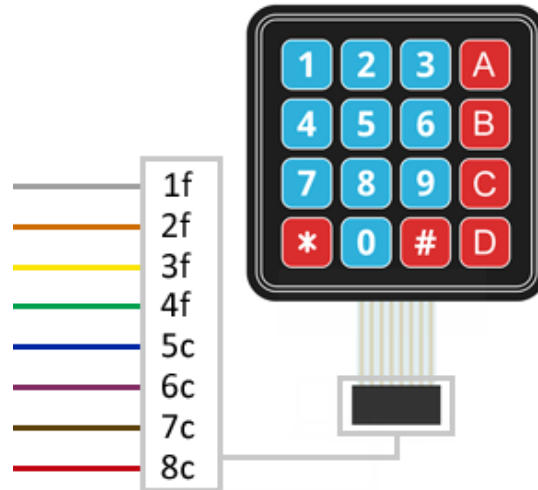


Figura 36. Teclado de membrana de 4 x 4 (Arduino, 2019)

En nuestro caso específico será un teclado matricial de 4 x 4 ya que se requerirá el poder ajustar los rangos de medición manualmente a través de este teclado, además de permitir una mayor flexibilidad de la interfaz con el usuario permitiendo así que el control digital demuestre sus capacidades determinando las diferentes acciones como podría ser obtener la medición de la temperatura en alguna zona específica del sistema de destilación así como también interrumpir el paso del agua por el condensador.

Las teclas son simples interruptores mecánicos y cada una ocupa la intersección de una fila con una columna. Cuando se pulsa una tecla, se ponen en contacto eléctrico la fila y la columna donde está dicha tecla. Las filas y columnas de esta matriz se pueden conectar a los terminales de uno o más puertos paralelos. Para explorar un teclado matricial se envían señales hacia las filas de la matriz por las líneas de exploración y se recoge información por las columnas, que entonces constituyen las líneas de retorno. Básicamente se parte de que, si no hay ninguna tecla pulsada, todas las líneas de retorno están en el nivel lógico '1'. Las líneas de exploración son puertas (sucesivas o simultáneas) a '0'. Este valor lógico solo aparece en la línea de retorno donde está la tecla pulsada mientras que las restantes líneas de retorno mantienen el valor lógico de '1'. Con la información enviada a la matriz y la que retorna se conforma un código único para cada tecla, llamado código de exploración. Para

garantizar que las líneas de retorno permanezcan en '1' si no hay tecla pulsada, se conectan resistencias entre cada línea de retorno y la tensión de alimentación (VDD) (Breijo, 2019).

Aunque actualmente los diferentes compiladores cuentan con funciones preestablecidas para hacer más sencilla la comunicación de este dispositivo y el microcontrolador, permitiendo así que el desplegar mensajes con varias líneas de texto sea sencillos siguiendo pocos pasos. Además de existir estas bibliotecas de funciones existen también algunos dispositivos que funcionan como intermediario para las comunicaciones con el Microcontrolador como son los módulos I2C

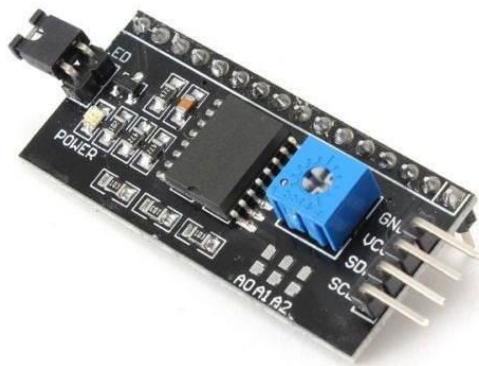


Figura 37. Módulo de Interfaz I2C para comunicar a él microcontrolador con el LCD (Geekbot Electronics, 2019)

2.5 TRANSISTORES E INTERRUPTORES

Un método muy común para prevenir daños en los sistemas electrónicos está basado en los componentes más económicos y de sencillo funcionamiento, como veremos los interruptores juegan un papel primordial dentro de los circuitos eléctrico-electrónicos, dentro de los sistemas es fundamental poder controlar la duración de una señal de excitación esto se hace comúnmente a través de interruptores mecánicos como es el caso de los botones pulsadores, aunque este tipo de dispositivos tienen un desgaste mecánico intrínseco la duración de estos componentes actualmente es larga y por lo tanto se decidió que en nuestro sistema contáramos con un teclado que como dijimos está compuesto por una matriz de 4×4 botones mecánicos, creando así un teclado, el uso de este tipo de botones hace accesible al usuario una gama de funciones que le permitirán controlar las tareas que realiza el sistema.

Los dispositivos empleados dentro de los circuitos electrónicos como interruptores mecánicos de activación electrónica son los relevadores, estos dispositivos son muy compactos y robustos en su construcción, estos dispositivos cubren un amplio rango de voltajes de activación, así como de corriente máxima de operación, una imagen del dispositivo se muestra en la Figura 38.



Figura 38. Relevador de 12V D.C. Modelo SRD-12VCD-SL-C (Songle, 2019)

El dispositivo SRD-12VCD-SL-C cuenta con un electroimán de activación de 12V, que permite conectar en sus terminales cargas de una potencia superior, estos dispositivos son aplicados para aislar secciones de control de las secciones de potencia en nuestro caso el dispositivo cumple con todos los requerimientos, es por esto por lo que expondremos como usarlo dentro de una configuración para poder activar una carga de D.C. y también una de A.C. Además de los interruptores mecánicos como los botones existe un método para lograr la misma función a través de un dispositivo semiconductor, este método es conocido con el nombre de conmutación, este semiconductor es el transistor y esta conmutación con transistores requiere de un arreglo mínimo de componentes y es capaz de controlar cargas por encima de la capacidad soportada por los periféricos de los microcontroladores, el cubrir por completo las diferencias entre las familias existentes de transistores sobrepasa el objetivo de este libro y nos limitaremos a dar explicación únicamente sobre la familia TBJ (Transistor Bipolar Junction) por ser la familia con que se ha desarrollado la placa electrónica de control (Nashelsky, 2015). Mediante un diseño electrónico apropiado se puede implementar al

transistor para utilizarlo como un interruptor digital, aunque el siguiente procedimiento de diseño se puede ampliar a cualquier transistor nosotros elegimos al transistor NPN BC547C por sus características de fabricación, para ir desarrollando el sistema de control notaremos que estos interruptores digitales conllevan varias ventajas con respecto a los interruptores mecánicos un ejemplo sería su tiempo de reacción (Ogata, 2010).

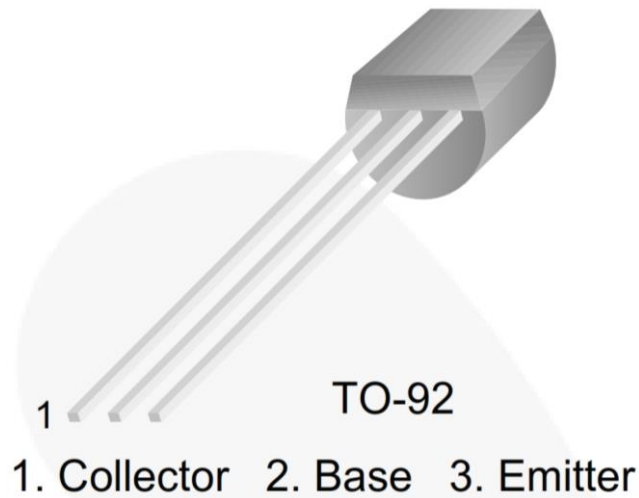


Figura 39. Transistor BC547C, componente electrónico TBJ de señal pequeña (Fairchild, 2019)

El diseño estará basado en la hoja de datos del fabricante así que se sugiere al lector contar con este documento, lo podrá encontrar dentro de nuestra bibliografía. Para comenzar con el diseño necesitamos de la sección de características eléctricas que se muestra en la Tabla 13

Tabla 13. Características eléctricas para una temperatura ambiente a $T_A=25^\circ\text{C}$ (Fairchild, 2019)

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	$V_{CB} = 30\text{ V}, I_E = 0$			15	nA	
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	110		800		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		90	250	mV	
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		250	600		
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		700		mV	
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		900			
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	580	660	700	mV	
		$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$			720		
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}, f = 100\text{ MHz}$		300		MHz	
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 1\text{ MHz}$		3.5	6.0	pF	
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0, f = 1\text{ MHz}$		9		pF	
NF	Noise Figure	BC546 / BC547 / BC548	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A}, f = 1\text{ kHz}, R_G = 2\text{ k}\Omega$		2.0	10.0	dB
		BC549 / BC550			1.2	4.0	
		BC549	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A}, R_G = 2\text{ k}\Omega, f = 30\text{ to }15000\text{ MHz}$		1.4	4.0	
		BC550			1.4	3.0	

y así comenzar a definir algunos conceptos que nos serán de gran utilidad para emplear correctamente a nuestros transistores. Los transistores cuentan con 4 regiones principales de trabajo que son la región activa directa, región activa inversa, región de saturación y región de corte (Nashelsky, 2015). Al tratarse de una red de conmutación se excluirá a la región activa (directa o inversa) por ser regiones de amplificación de señal, por lo tanto, nos enfocaremos en las descripciones de las 2 regiones restantes que son corte y saturación. La región de corte se define como aquella que está por debajo de I_{ceo} , como se puede observar en la Ecuación 5.

$$I_c = I_{ceo} \quad (5)$$

y la cual también hay que evitar para que la señal de salida tenga una distorsión mínima. La región de saturación se define como aquella que está a la izquierda de V_{CEsat} , como se puede observar en la Ecuación 6.

$$V_{ce} = V_{ce_{sat}} \quad (6)$$

Aun que es usual que la hoja de especificaciones proporcione estos valores, en nuestro caso no es así, debemos recurrir a la Ecuación 7 para ir definiendo los parámetros de diseño, como

se habrá notado en la hoja de datos no se especifica a I_{ceo} , pero podemos obtenerla través de un parámetro que si se nos proporciona que es I_{cbo} .

$$I_{ceo} = \beta I_{cbo} \quad (7)$$

para poder usar la Ecuación 7 debemos de dar un valor específico a β , por tener una terminación C en el código del transistor tenemos un rango variable de entre 420 a 800 para β dentro de las especificaciones descritas por el fabricante, usaremos algunos valores como son $\beta = 200, 400, 600, 800$.

$$I_{CEO} = \beta I_{CBO} = 200(15 \times 10^{-9}) = 0.000003 \text{ A}$$

$$I_{CEO} = \beta I_{CBO} = 400(15 \times 10^{-9}) = 0.000006 \text{ A}$$

$$I_{CEO} = \beta I_{CBO} = 600(15 \times 10^{-9}) = 0.000009 \text{ A}$$

$$I_{CEO} = \beta I_{CBO} = 800(15 \times 10^{-9}) = 0.000012 \text{ A}$$

Para nuestros propósitos de diseño supondremos que I_c tiende a cero como se muestra en la Ecuación 8.

$$I_c = I_{ceo} = 0 \text{ mA} \quad (8)$$

Cuando la corriente de base I_b es:

$$I_b = 0 \mu\text{A} \quad (9)$$

Además, supondremos que V_{ce} es igual a cero, como se observa en la Ecuación 10.

$$V_{ce} = V_{ce_{sat}} = 0 \text{ V} \quad (10)$$

Aunque dentro de las hojas de datos nos den valores de 90 a 250 mV haremos la suposición de que esto se aproxima al valor de cero Volts, como se puede apreciar en la Figura 40 que es la imagen de la sección de la hoja de datos de especificaciones para el transistor NPN modelo BC547C.

$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 0.5 \text{ mA}$	90	250	mV
		$I_C = 100 \text{ mA}, I_B = 5 \text{ mA}$	250	600	

Figura 40. Sección de las características eléctricas de la hoja de datos para el BC547C (Fairchild, 2019)

La premisa que se debe cumplir cuando el transistor recibe un nivel lógico alto de 5V por un pin del microcontrolador a través de una resistencia de base es que se cree una corriente de base y esta a su vez genere una corriente de colector que accione al transistor, el diseño debe garantizar que la red se saturara en exceso por un nivel mayor que el asociado con la curva I_b que aparece cerca del nivel de saturación (Nashelsky, 2015).

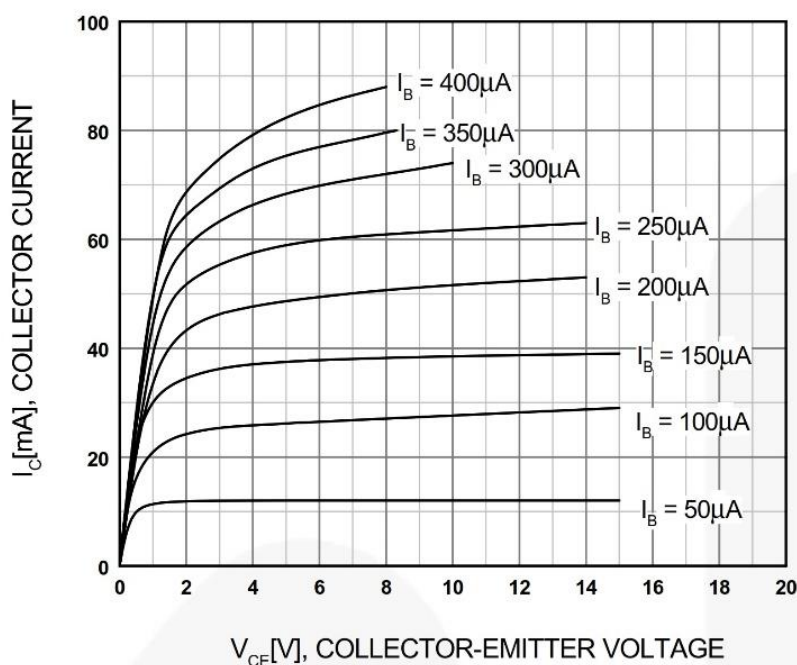


Figura 41. Curva característica de la respuesta del transistor (Fairchild, 2019)

En los datos del fabricante muestran cuando el transistor podría generar un funcionamiento inesperado o se destruya si sobrepasa los valores máximos absolutos y entre estos se denota a la corriente de colector continua como 100 mA , entonces se supondrá un punto entre el 60 y 80 por ciento de saturación máxima para no forzar al equipo a su máxima capacidad, el rango para este transistor en particular se presenta una corriente de base I_b de entre 300 y $400 \mu\text{A}$. El nivel de saturación de nuestra red estará definido por la Ecuación 11:

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (11)$$

El nivel de I_b en la región activa justo antes de que se dé la saturación puede aproximarse mediante la Ecuación 12 siguiente:

$$I_{b_{m\acute{a}x}} \cong \frac{I_{C_{sat}}}{\beta_{cd}} \quad (12)$$

Por consiguiente, para el nivel de saturación se debe garantizar que se satisfaga la siguiente condición, es decir, que la corriente de base deberá de ser mayor al producto de la corriente de colector de saturación dividido entre la ganancia de corriente directa y se expresa matemáticamente en la siguiente Ecuación 13.:

$$I_b \geq \frac{I_{C_{sat}}}{\beta_{cd}} \quad (13)$$

Para la red de conmutación cuando el microcontrolador de un nivel lógico alto causará el efecto de una corriente de base, que será quien controle a la corriente producida en el colector, esto se verifica en la Ecuación 14:

$$I_b = \frac{V_i - V_{be_{on}}}{R_b} \quad (14)$$

Una vez identificadas las ecuaciones que se necesitan se sustituyen los valores y se obtiene la corriente de base como se observa en la Ecuación 15

$$I_b = \frac{5V - 660mV}{10K\Omega} = \frac{5V - 0.660V}{10,000\Omega} = \frac{4.34V}{10,000\Omega} = 434\mu A \quad (15)$$

Donde:

$V_{be_{on}}$ = Voltaje de encendido típico proporcionado por el fabricante.

R_b = Resistencia de Base propuesta.

Ahora analizáremos a la sección de salida con la Ecuación 16

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12V}{320\Omega} = 37.5mA \quad (16)$$

Donde:

V_{cc} = voltaje de alimentación.

R_c = Resistencia del inductor dentro del relevador.

Si se aplica la ley de Ohm al relevador se obtiene a la Ecuación 17

$$I_{nominal} = \frac{V_{cc}}{R_{inductor}} = \frac{12V}{320\Omega} = 37.5mA \quad (17)$$

En la Tabla 14, se puede observar la resistencia del inductor.

Tabla 14. Especificación de la resistencia del inductor dentro del Relevador, esta resistencia describirá a nuestra resistencia R_c , y por aquí por donde fluirá la corriente I_c (Songle, 2019).

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
SRD (Standard)	48	48	7.5	6400	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	03	03	150	20				
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
24	24	18.7	1280	abt. 0.51W				
48	48	10	4500					

Esto comprueba que la corriente nominal del inductor dentro del relevador es exactamente igual a la corriente que fluirá a través del colector del transistor. Ahora si se obtiene la relación entrada-salida se observa una Beta del transistor de aproximadamente 86.4 y a esta se le conoce como el factor de amplificación del transistor como se observa en la Ecuación 18.

$$I_{b_{m\acute{a}x}} \cong \frac{I_{C_{sat}}}{\beta_{cd}} \rightarrow \beta_{cd} \cong \frac{I_{C_{sat}}}{I_{B_{m\acute{a}x}}} \cong \frac{37.5mA}{434\mu A} = 86.4055 \quad (18)$$

2.6 TIPOS DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En esta sección analizaremos las diferentes formas que hay para energizar a un sistema electrónico, más específicamente un sistema basado en un microcontrolador, como se verá al transcurso de este capítulo, existen diferentes factores de relevancia en lo que respecta a la calidad de una fuente de alimentación. Lo primordial será el establecer los tipos de energía disponibles, además de considerar el tiempo de vida y costo de esta, pues nuestra premisa general es que este dispositivo contara con portabilidad, pero con la restricción de contar con una toma de corriente pues todas las demás formas de energizar conllevaran el reducido tiempo de vida intrínseco que pueden experimentar sus componentes constituyentes por ejemplo de una batería común (Mileaf, 2014).



Figura 42. Representación del Sistema Eléctrico Nacional de México, el órgano encargado de regularlo es el CENACE (Gobierno de México, 2019)

La energía eléctrica de corriente alterna sinusoidal se encuentra disponible comercialmente al público en general dentro de nuestro país; esta señal debe de cumplir con ciertas características que son exigidas por el gobierno a las instituciones públicas y privadas para este fin, lo que permite contar con una fuente parcialmente ideal de voltaje de A.C. Como sabrá la generación de este tipo de energía eléctrica es más eficiente y económica que la generación de voltaje de C.D., es por esto por lo que los diferentes métodos que se expondrán se basaran en la transformación de un tipo de energía al otro, es decir, de voltaje de A.C., a voltaje de C.D. (Boylestad, 2011).

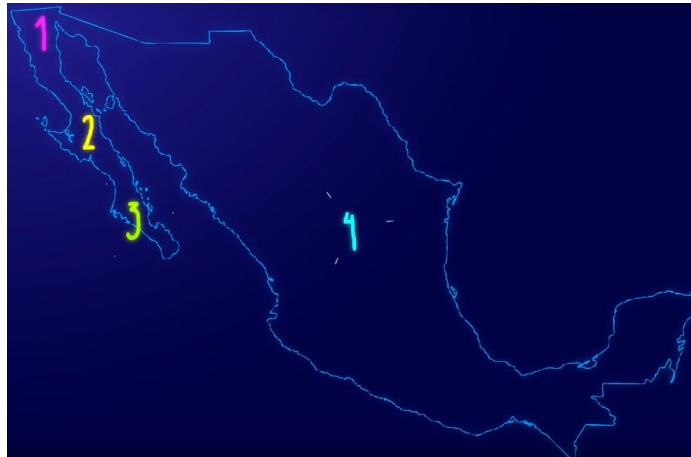


Figura 43. Distribución de los 4 sectores del Sistema Eléctrico Nacional de México (Gobierno de México, 2019)

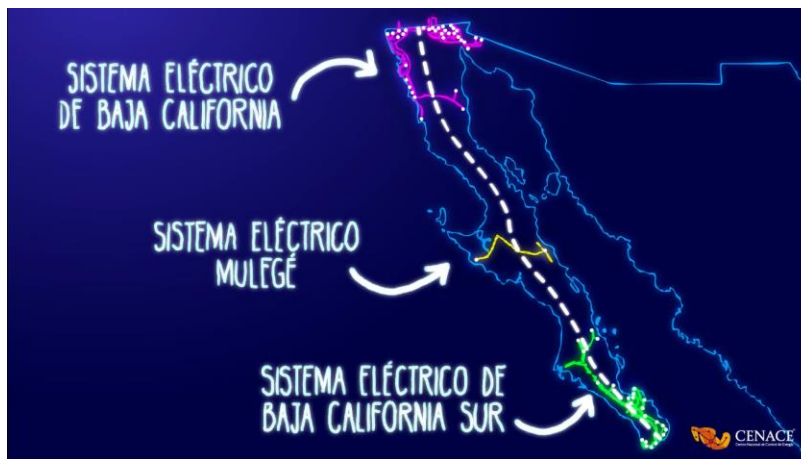


Figura 44. Distribución de las 3 primeras secciones y de menor cobertura (longitud) (Gobierno de México, 2019)



Figura 45. El cuarto sector cubre la mayor cobertura y es conocido como el sistema interconectado nacional, es dentro esta región donde se desarrolló el prototipo (Gobierno de México, 2019)

2.6.1 FUENTE DE CD

Como se mencionó anteriormente las fuentes de voltaje de C.D. pueden estar constituidas de forma tal que se logre transformar una de onda sinusoidal pulsante en un formato de nivel constante, este no es el único método para obtener una fuente de voltaje de C.D., ya que también puede ser a través de métodos químicos y físicos variados. En este texto nos enfocaremos en la transformación de voltaje de A.C. a voltaje de D.C. (Mileaf, 2014).

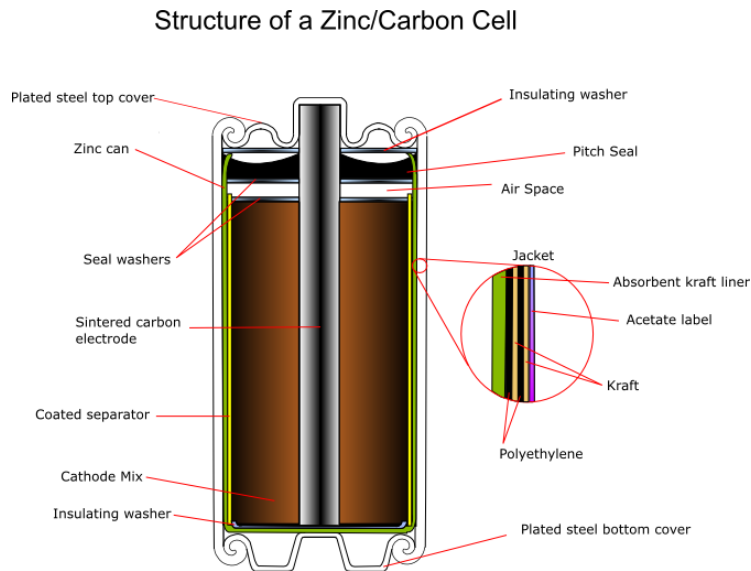


Figura 46. Corte longitudinal de una batería de Zinc Carbono (University of Cambridge, 2019)

2.6.2 PROCESO DE RECTIFICACIÓN

En las redes de transmisión eléctrica nacional contamos con un voltaje de *127 Volts* con una frecuencia de *60 Hertz*, esto nos permite considerar a la red de voltaje como una fuente ideal, ya que sufre de muy pocas perturbaciones sin importar la región del país en que se encuentre (Boylestad, 2011). Una vez establecido el objetivo se concentrará la atención en transformar esta forma de onda en un formato capaz de ser soportado por el dispositivo, que no puede ser alimentado con este tipo de fuente. Se cuenta con un voltaje de C.A. que es obtenido en algún fuente generadora de energía eléctrica por ejemplo, una central hidroeléctrica, una central de gas o nucleoelectrica probablemente a cientos de kilómetros de la locación donde este dispositivo será activado, este voltaje generado será transmitido por un transformador elevador hacia las redes de transmisión eléctrica, después a muchos menos kilómetros de

distancia en una subestación, será reducido a un nivel más práctico de voltaje y será distribuido por las redes de baja tensión como se dijo anteriormente ($127V$) (Mileaf, 2014), este voltaje continua siendo completamente inservible para alimentar al equipo. Hay que reducirlo nuevamente a un nivel de $18V$ para manejarlo con seguridad.

Este cambio de nivel de voltaje se efectuará con un transformador; ya que con este nivel de voltaje será necesario hacerlo pasar a través de un rectificador de onda completa y para este dispositivo se ha seleccionado al diodo semiconductor $1N4004$ como elemento rectificador, ya que, su propósito de fabricación es el de ser un dispositivo de rectificación de potencia media, el nivel de voltaje de C.D. obtenido a través de este proceso llamado rectificación de onda completa es muy conocido por realizar la función en configuración de puente con 4 diodos.

En este caso particular empleamos una frecuencia de $60Hz$ lo que implica un periodo $16.67 ms$ que será dividido en dos secciones idénticas que estarán formadas durante el periodo como $T= 0$ a $T/2$ para el pulso positivo de la señal sinusoidal, lo que da por resultado que el diodo $D2$ y $D3$ estén conduciendo en este tiempo mientras que $D1$ y $D4$ están apagados, en la región negativa del pulso comprendido entre $T/2$ y T los diodos que conducen son $D1$ y $D4$ mientras que los diodos $D2$ y $D3$ estarán apagados (Nashelsky, 2015).

El análisis demuestra que la polaridad a través de la impedancia formada por el dispositivo de carga es la misma que la del pulso positivo inicial, por lo que se establece un segundo pulso positivo.

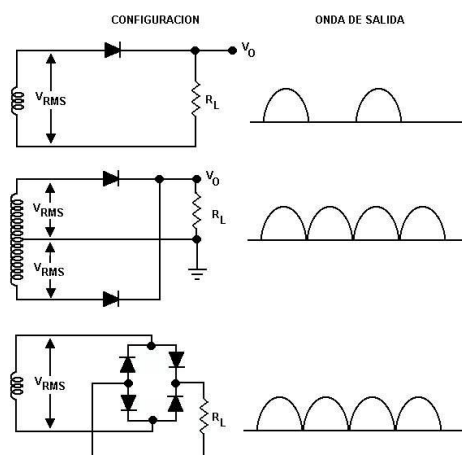


Figura 47. Visualización de rectificador de onda completa conectado a una carga (electronika2, 2019)

El nivel de voltaje de *CD* obtenido se puede calcular con la Ecuación 19.

$$V_{cd} = 0.636 V_m \quad (19)$$

Al tener en cuenta que los diodos tienen un voltaje de encendido en directa especificado en su hoja de datos proporcionada por el fabricante, se debe recurrir a ella para obtener este dato, aunque podría ser obtenido a través de medición directa con un multímetro digital. Aplicando la ley de Kirchhoff de voltajes alrededor de la trayectoria de conducción se obtiene

$$V_{cd} = 0.636(V_m - 2V_{on}) \quad (x)$$

La salida rectificadora de este voltaje tiene un valor de voltaje C.D. y alguna variación de voltaje C.A. (rizo). Aun cuando en esencia este voltaje cuenta con un valor de voltaje C.D. la variación de voltaje C.A. con respecto al nivel de voltaje C.D. definirá la calidad de esta rectificación, como generalmente ocurre este factor de rizo será muy grande y no será conveniente introducirlo al equipo ya que podría dañarlo. A continuación, se describe porque esta señal no será considerada como aceptable pues el porcentaje de rizo se puede obtener con la Ecuación 21:

$$r = V_{rec} \left(\frac{rms}{V_{cd}} \right) \times 100\% = \left(\frac{0.308V_m}{0.636V_m} \right) \times 100\% = 48\% \quad (21)$$

Una vez que se ha demostrado matemáticamente el factor anterior, se puede asegurar que será necesario estabilizar aún más el voltaje de C.D. y disminuir al mínimo el factor de rizo (variación de voltaje de A.C.). Esta hazaña puede ser llevada a cabo a través de un arreglo relativamente simple de componentes pasivos como lo son los filtros RC (Nashelsky, 2015).

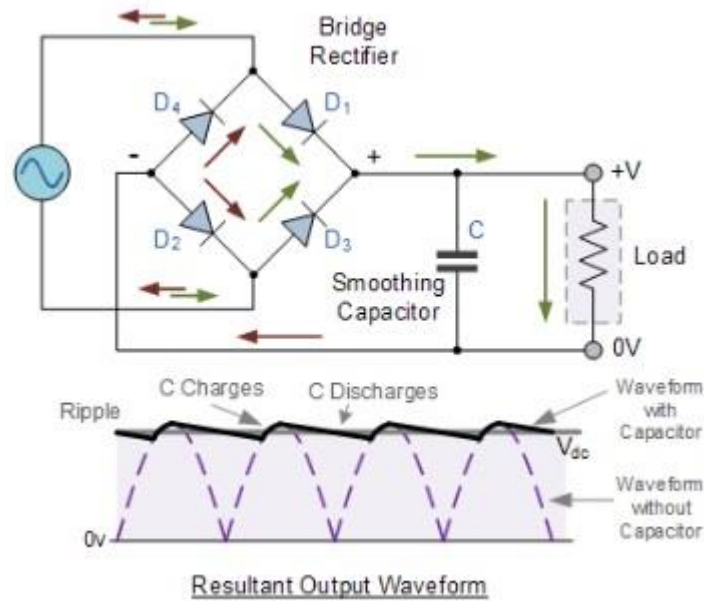


Figura 48. Configuración Básica de rectificador con capacitor de filtrado (Tutoriales de electronica basica , 2019)

2.6.3 FILTROS RC (OTROS TIPOS DE FUENTE)

Una vez que se han aclarado las clases de energía eléctrica disponibles, comenzaremos a priorizar las necesidades del equipo, en esta sección se discutirá la construcción básica de una fuente de voltaje de C.D. parcialmente regulada a través de dispositivos pasivos, en muchos textos de electrónica básica podrá encontrar configuraciones similares a las que aquí se presentan.

Dichas configuraciones buscarán el objetivo de obtener la máxima eficiencia de conversión ya que este mismo proceso de rectificación puede ser llevada a cabo por un número menor al establecido dentro de la configuración que se implementó en este sistema, el incremento de dispositivos semiconductores como lo es el diodo permite aumentar esta eficiencia, a pesar de que se puede lograr la misma eficiencia con sólo dos diodos se requerirá de variar al transformador reductor por uno con derivación central. es por esto por lo que utilizaremos un transformador sin derivación central acoplado a un puente de diodos.

Los filtros RC deberán de ser colocados como carga a la salida de la configuración de diodos para lograr una mayor regularización del voltaje de salida, aunque sacrificara algunos de los parámetros disponibles, como lo serán una reducción en el nivel de voltaje al igual que de potencia; este tipo de filtros suelen requerirse para alimentar dispositivos de gran escala de integración ya que no permitirán un funcionamiento óptimo si su fuente energizante sufre de variaciones en voltaje de A.C.

A través de este capítulo los filtros RC usualmente son colocados dentro de los equipos, pero en este caso se ha optado por un simple acoplo capacitivo ya que las desventajas intrínsecas de las configuraciones de estos filtros requieren de una disipación de potencia abrumadora (Nashelsky, 2015).

2.6.4 REGULADORES DE VOLTAJE LINEAL C.I.

En la actualidad se busca que los diseños eléctrico-electrónicos cuenten con capacidades multitarea, bajo consumo de potencia, portabilidad o transportable y duración de batería. A través de lo discutido en las secciones anteriores notamos que la regulación de voltaje de C.D. continúa siendo muy pobre ya que no se consideran perturbaciones térmicas o variaciones dentro de los parámetros publicados por el fabricante, esto puede ser aparentemente irrelevante para el ingeniero electrónico sin experiencia, pero como se dará cuenta a través del tiempo es necesario establecer protecciones adicionales para asegurar el buen funcionamiento de los equipos.

Dentro de este texto este objetivo se alcanza a través de los circuitos integrados de voltaje de regulación lineal ya que sus prestaciones y disponibilidad en el mercado hacen muy frecuente su participación dentro de equipos que cumplan con las características que se han establecido para el equipo.

Este tipo de dispositivos se encuentran en una gran variedad de empaques que usualmente permiten obtener una pista de la potencia típica de trabajo que se divide en baja, media y alta, los tamaños y formas de estos dispositivos variar según su fabricante, pero nos abocaremos a los circuitos de potencia media por tener las prestaciones necesarias (Nashelsky, 2015).

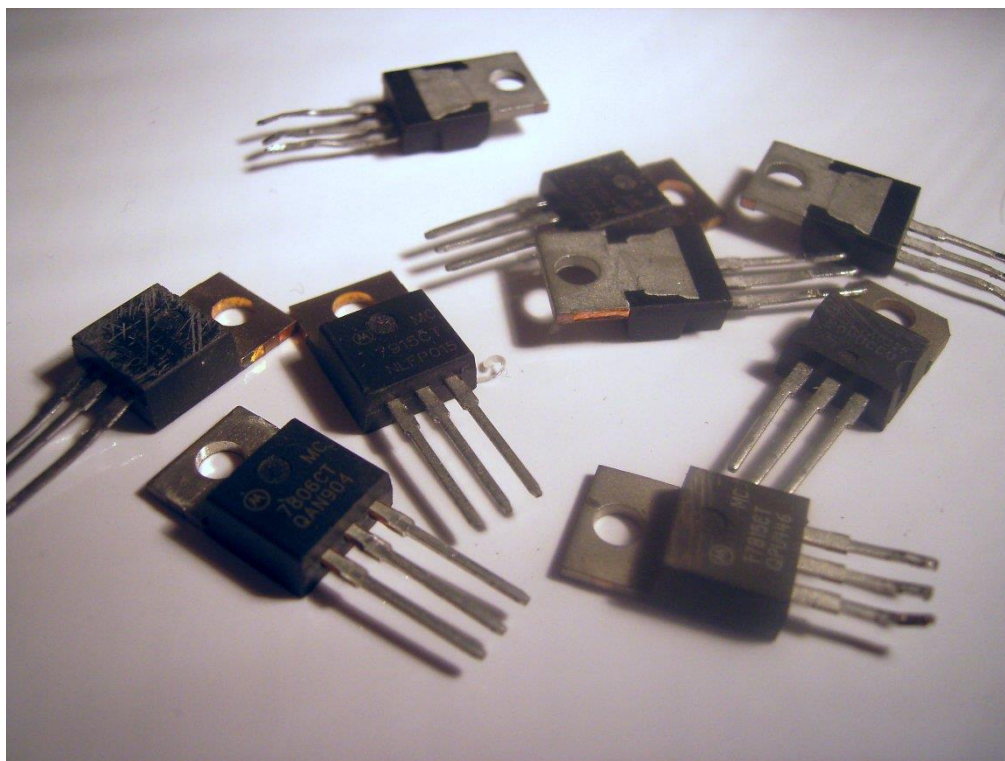


Figura 49. Diferentes Circuitos Integrados Reguladores de voltaje de potencia media (Fundacion Wikipedia, Inc.,, 2019)

Estos circuitos de potencia media usualmente cumplen con características como lo son corriente máxima comprendida entre *1 y 1.5 Amperes* sí cuentan con un buen disipador, regulación de línea, protección térmica y hasta protección contra corto circuito lo que hace a estos dispositivos parcialmente inmunes a las perturbaciones externas y es por esto por lo que dichos dispositivos han sido empleados como el corazón dentro de nuestro diseño. el circuito integrado elegido para esta tarea es el LM7812 puesto que las series de circuitos integrados 78XX (pudiendo sustituir XX por el voltaje deseado a la salida) cuentan con todas las características antes mencionadas.

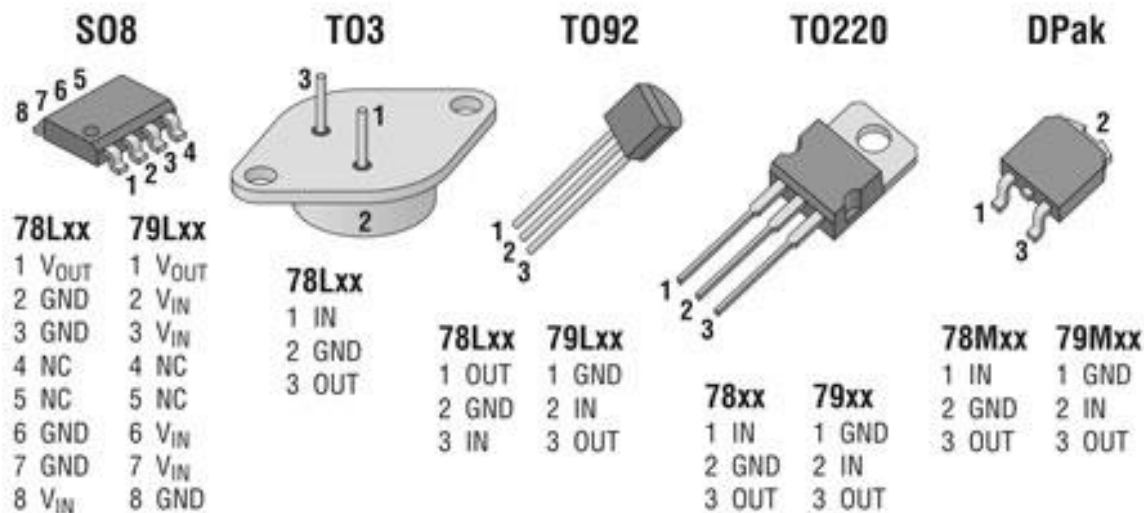


Figura 50. Configuración de pines para los C.I. 78LXX y 79LXX reguladores de voltaje lineal positivo y negativo respectivamente (GES-ELECTRONICS, a.s., 2019).

El diseño práctico y versátil de este circuito integrado permite omitir un filtrado RC y sustituirlo por un acoplamiento capacitivo disminuyendo así la cantidad de componentes necesarios para lograr construir una fuente de voltaje de C.D., Este dispositivo tiene también algunas características que deben ser de particular interés para el diseñador, la hoja de datos del fabricante permite ayudar a tomar las consideraciones necesarias para construir un sistema estable, sabiendo que estas restricciones existen debemos de tener en cuenta que es aquello que pretendemos energizar es por esto que en las siguientes sección se describirán cada uno de los componente electos, además, de su colocación dentro de diseño de la PCB (Printed Circuit Board)

2.7 DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMÁTICO

Hasta este punto solo sea presentado una introducción al sistema real que se desea fabricar, este sistema estará basado en la placa de desarrollo Arduino 1, contará con una placa exclusiva para la alimentación y otra con la capacidad de ser montada directamente sobre la placa de desarrollo que llamaremos “tarjeta de control”. La descripción de la placa Arduino se dejar para el siguiente capítulo, mientras que en esta sección y las posteriores se analiza a la tarjeta de alimentación y de control.

El diseño de un circuito electrónico está basado en algo llamado circuito esquemático o por lo menos teóricamente así debería de ser; Esta representación gráfica permite analizar la interacción de señales entre los diferentes periféricos para tener una idea de las terminales que estarán en contacto eléctrico además de permitir tener una visualización mental de la disposición final que tendrán los componentes que conforman a el sistema.

En la actualidad esta tarea tan laboriosa se ve simplificada por diferentes softwares disponibles que permiten realizar el dibujo eléctrico electrónico de un circuito esquemático, así como a analizar sus respuestas a diferentes señales es decir capaces de soportar la simulación virtual del sistema electrónico. Estos paquetes virtuales logran cumplir con una gran variedad de funciones como lo son: creación de circuitos esquemáticos, simulación y creación de un circuito impreso (Breijo, 2019).

Estos diseños podrán ser transferidos a una placa de cobre donde se colocarían los componentes, aunque aquí no se realiza este trabajo de una manera manual o rudimentaria para esto se hará uso de software y hardware extranjero para obtener una placa con calidad sobresaliente, así que es momento de ser analíticos y continuar seccionando la tarea que se tiene.

Para iniciar será necesario establecer qué tipo de circuito deseamos diseñar, como se dijo el diseño será dividido en dos tarjetas, comenzaremos por la descripción del diseño de la placa que conforma la fuente principal de alimentación, para el dispositivo de instrumentación y control electrónico, para continuar con una descripción de la placa de control; una vez que se tenga lista la descripción de ambas placas será necesario comprender a ambas placas como un sistema completo del cual también formará parte la placa de desarrollo Arduino 1.

Desde el comienzo será obligatorio hacer restricciones para poder limitar los componentes que podrían llegarse a utilizar, es deber del ingeniero Eléctrico - Electrónico el diseño de un circuito deberá de ser capaz de tener flexibilidad para poder continuar en operación con las mínimas adaptaciones necesarias, si este fuera el caso, además de siempre cumplir con las

normas de seguridad para que el usuario final no corra ningún riesgo mientras haga uso del dispositivo.

Antes de comenzar con la descripción del circuito de fuente de alimentación hay que hacer notar que, aunque se divida la construcción en 2 placas diferentes, la construcción de cada una influirá en las limitantes de la otra y viceversa y es por esto por lo que, aunque se haga una descripción de cada tarjeta independientemente se deberá hacer mención de las intenciones de cada carga.

2.7.1 DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMÁTICO PARA LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Cuando se ha planteado diseñar una tarjeta de alimentación para este dispositivo se debe de tener en cuenta la capacidad de potencia máxima que se desea suministrar y esto será identificado por las cargas preestablecidas por el sistema, en el este se espera tener como cargas:

- Bomba de agua de *C.D.*
- Resistencia sumergible de *A.C.*
- Pantalla *LCD* de 20×4
- Sensor de temperatura *DS18B20*
- Teclado matricial de 4×4
- 2 *MAX6675* convertidor termopar a digital
- 2 sensores tipo *J*
- Ventilador de $12V$ *C.D.*

De los componentes anteriores se puede excluir a la Resistencia de inmersión de voltaje de *A.C.* debido a que esta carga extrae su energía de una fuente de voltaje de *AC.* que estará conectada a la salida de un relevador, es por esto por lo que en este circuito solamente consideraremos las cargas de *CD* y si fuera necesario consideraremos a la corriente necesaria para la activación del relevador que permite energizar a esta carga de *AC.*

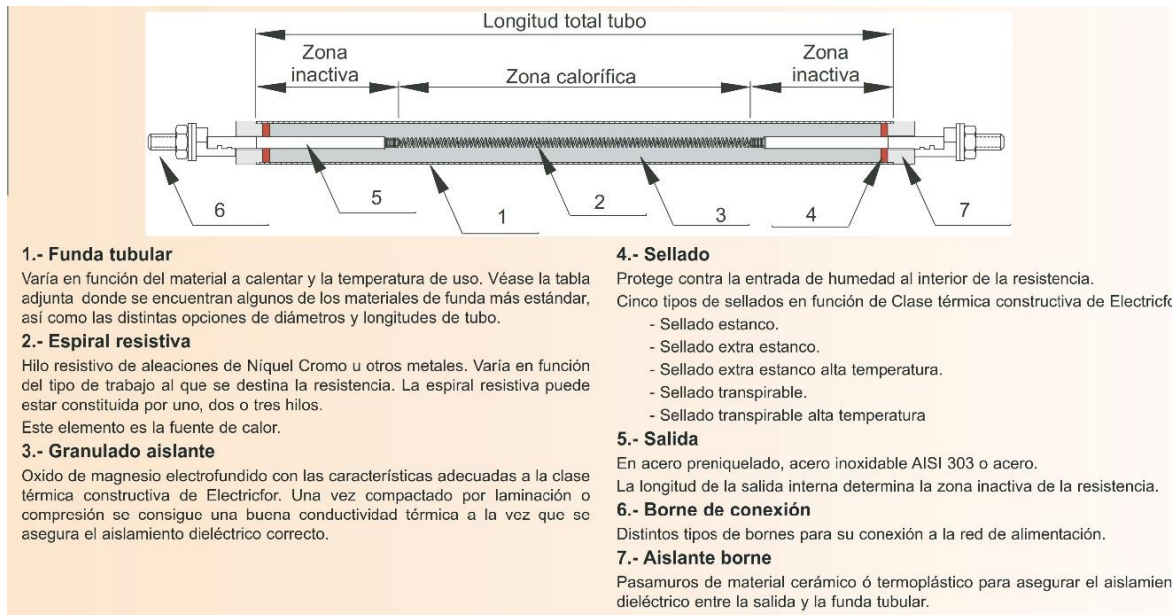


Figura 51. Resistencia de inmersión construcción interna (BrotoTermic, 2014)

Ahora que se ha analizado las diferentes cargas se puede concluir que con una fuente de voltaje capaz de suministrar $12V$ de CD , y una corriente de 3 Amperes estaríamos cumpliendo con los requerimientos para energizar este sistema. Por lo anterior se decidió basar el diseño en el circuito integrado $LM7812$ que es capaz de suministrar una corriente de $1.5 A$ y dividir la demanda de corriente en el dos de estos dispositivos para alcanzar el rango de los $3 A$, aunque como se puede observar dentro de las hojas de especificaciones estos dispositivos son capaces de suministrar hasta $2.2 A$ si cuentan con un dispositivo disipador de temperatura para que la pueda soportar, en el diseño además de contar con un disipador también contamos con un ventilador para permitir una mejor disipación de calor, así disminuir la temperatura de operación.

Cuando se expuso el tema de fuentes de voltaje CD se menciona claramente que el planteamiento de alimentación de este dispositivo será una toma de corriente de AC , común de $127V$, después de esto sería conveniente colocar un fusible y un botón de encendido general, a continuación la señal será conectada a un transformador reductor, este transformador podrá variar en el rango de voltajes dentro de los $18-24 V$ debido a las restricciones máximas de voltaje de entrada para los circuitos integrados de voltaje lineal,

pero siempre deberá de ser capaz de suministrar en el secundario un mínimo de 3-5 A, se recomienda usar el transformador de 5 A para contar con un rango de seguridad y no exponer al transformador a un trabajo continuo con su corriente de secundario máxima.

Después de esto se conduce la señal de voltaje reducido a través de un arreglo de puente de diodos, en este caso se ha seleccionado a la familia *IN400X*, como se puede apreciar en su hoja de datos son capaces de soportar una corriente comprendida entre 1-30 A teniendo en cuenta que se reduce el tiempo de vida que podrán soportar esta corriente sin sufrir daños, la exposición prolongada a los valores absolutos máximos dañará al dispositivo invariablemente.

Tabla 15. Características eléctricas para una temperatura ambiente a $T_A=25^\circ$ hoja de datos de la familia de dispositivos 1N400X, donde se especifican los valores máximos y las características eléctricas C (Fairchild, 2019)

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}								V
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
DC Blocking Voltage	V_R								V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ $T_A = +75^\circ\text{C}$	I_O	1.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single Half Sine-Wave Superimposed on Rated Load	I_{FSM}	30							A
Forward Voltage @ $I_F = 1.0\text{A}$	V_{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current @ $T_A = +25^\circ\text{C}$ at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A = +100^\circ\text{C}$	I_{RM}	5.0 50							μA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_j	15				8			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	100							K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T_A	+150							$^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +150							$^\circ\text{C}$

Al contemplar una corriente máxima de consumo de 3A se puede contar con que este semiconductor será capaz de trabajar sin ningún riesgo. Al salir de la configuración de puente se hace pasar esta señal rectificada a través de un acoplamiento capacitivo que actúa como estabilizador de la señal de voltaje de C.D. y siendo entregado este voltaje a la entrada del circuito integrado LM7812 que será el encargado de regular el voltaje a un nivel de C.D. de aproximadamente 12V una vez que se ha producido este voltaje por el C.I. es necesario hacerlo pasar una vez más por un capacitor como lo indica el fabricante en su hoja de datos en la sección de aplicaciones típicas, para poder así obtener un voltaje de salida disponible para ser utilizado sin tener que preocuparse mucho de como internamente es que este circuito logra dar esta regulación de voltaje podemos hacer uso de él.

En las secciones posteriores se dará una descripción física y visual de los componentes que serán colocados en la tarjeta para dar una noción de por qué se han seleccionado. En este punto solo analizaremos las diferentes interacciones que tiene la señal con los componentes. Por el momento podemos dar por terminada la interacción de la señal, desde que es suministrada por la red nacional y hasta que se encuentra en un formato aceptable para ser usado por nuestra tarjeta.

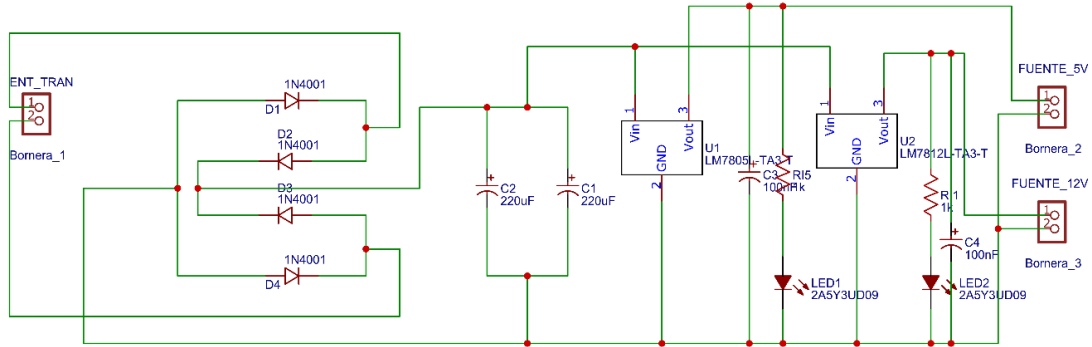


Figura 52. Diseño de circuito esquemático como fuente de alimentación.

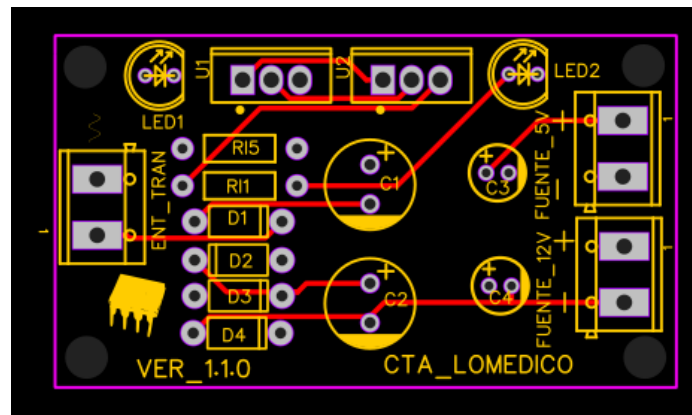


Figura 53. Diseño del circuito impreso de la fuente de alimentación.

2.7.2 DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMÁTICO PARA LA TARJETA DE CONTROL

La tarjeta de control está diseñada para colocarse directamente sobre la placa de desarrollo Arduino por lo que contará con 32 Pines para estar siempre en comunicación con la tarjeta, además de los que agregaremos para poder comunicarnos con los diferentes componentes, esta tarjeta de control consta de una sección para activar a nuestras diferentes cargas a través de un pulso producido por nuestro microcontrolador, para comunicarnos con los diferentes sensores de temperatura, para el teclado, pantalla y periféricos de alimentación.

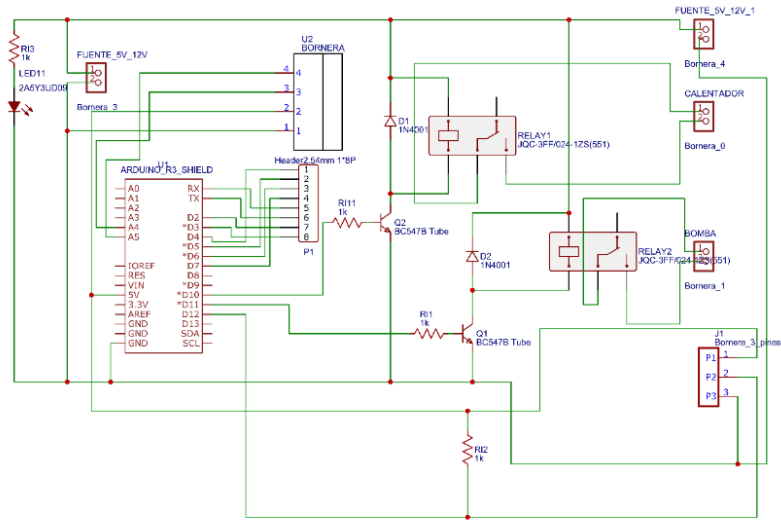


Figura 54. Diseño de circuito esquemático para la tarjeta de control

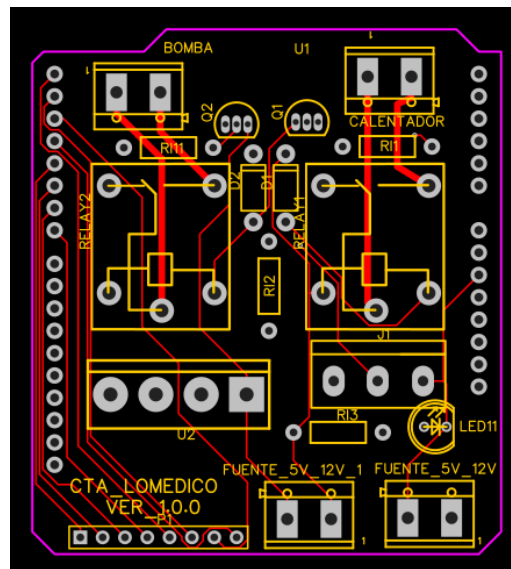


Figura 55. Diseño del circuito impreso para la tarjeta de control.

2.8 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO

Cuando se cuenta con los circuitos esquemáticos se debe de proseguir con el circuito impreso, como se mencionó con anterioridad se ha utilizado el software de uso público JLCPCB para poder diseñar estas tarjetas electrónicas, dentro de este software se cuenta con una función (icono) que permite trasladar el diseño esquemático a un diseño de tarjeta de circuito impreso, una vez que se ha terminado el diseño del circuito esquemático el diseño del circuito impreso

se ve reducido a sólo reacomodar los componentes dentro de la PCB por sus siglas en inglés, a continuación se muestra la disposición que se eligió para dar la mejor presentación posible, además recuerde que hay una restricción específica que se debe cumplir y es que la tarjeta de control jamás podrá superar las dimensiones de la placa de desarrollo Arduino UNO debido a que se ha diseñado para ser capaz de montarlo directamente sobre esta placa, la tarjeta de fuente de alimentación puede tomar las dimensiones que elijamos pero siguiendo los lineamientos de diseño para bajo consumo, portabilidad y tamaño mínimo además de multifuncionalidad; el circuito de la tarjeta de alimentación también será dirigido a la meta de tener un tamaño reducido.

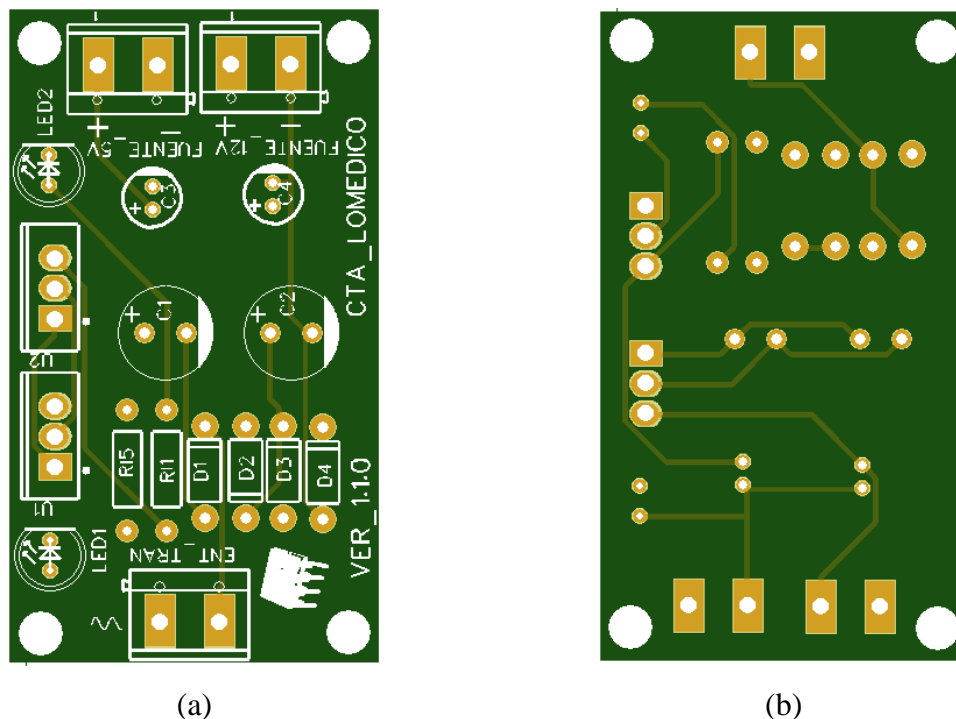


Figura 56. Circuito PCB de la fuente de alimentación para el sistema de destilación (a) Parte superior de la cara. (b) Parte inferior de la cara.

La imagen superior muestra la tarjeta de circuito impreso de doble capa de la tarjeta de alimentación, además de la disposición que tienen los componentes, las notaciones de U1 y U2 son para los reguladores de voltaje y se encuentran en esta sección de la placa para poder colocar un disipador térmico que permita el funcionamiento de estos circuitos durante periodos prolongados de tiempo.

Contará con 2 LED's (*Light Emitter Diode*) para poder visualizar él está activo de la placa, evitando, así los posibles puntos de revisión si es que ocurriera alguna falla pues estos permitirán tener una idea de donde pudo haberse presentado el problema.

En la sección de entrada para el transformador se colocó una huella de componente para una bornera al igual que a la salida de los reguladores de voltaje para permitir la conexión y desconexión de los otros módulos, esto agregara flexibilidad a nuestro dispositivo.

Ahora se mostrará el circuito impreso de la tarjeta de control

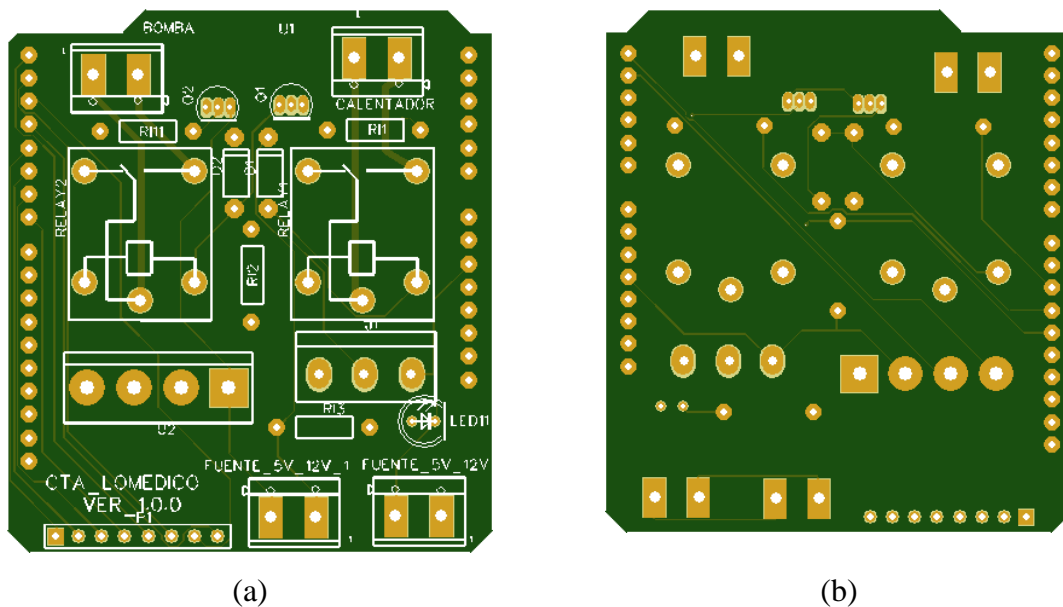
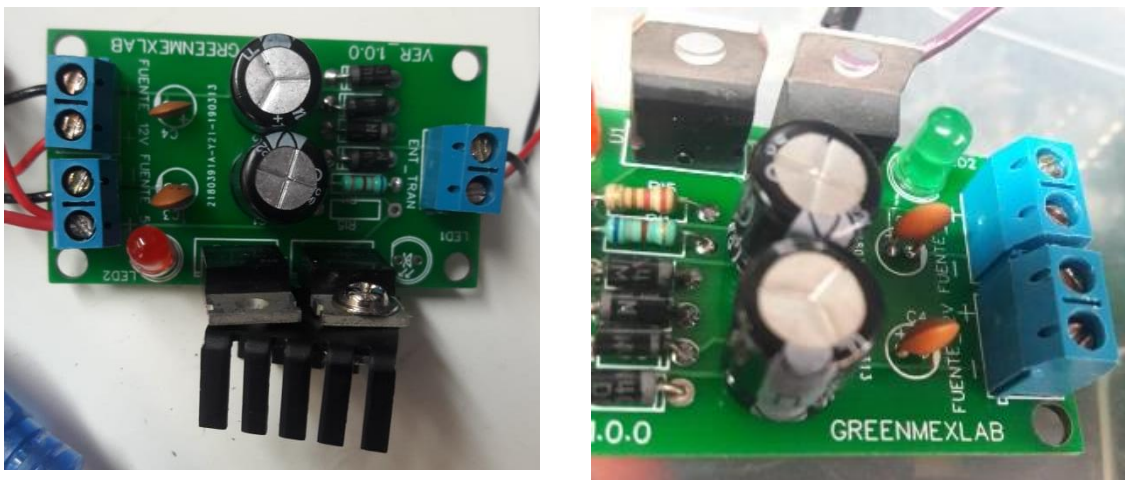


Figura 57. Circuito PCB de la etapa de control de la temperatura y la bomba (a) Parte superior de la cara.
(b) Parte inferior de la cara.

En la Figura 57a se muestra a la tarjeta de control desde un punto de vista de la cara superior, podemos visualizar fácilmente los orificios que servirán para colocar los header's macho para poder colocarla sobre la tarjeta Arduino UNO, también cuenta con un header de 8 pines para poder conectar el teclado. Al igual que en la tarjeta de alimentación, en las secciones de cargas y entradas de alimentación se colocaron borneras para la conexión de los diferentes dispositivos periféricos que hemos decidido utilizar para llevar a cabo esta aplicación práctica.

2.9 MONTAJE DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

En las dos secciones anteriores hemos descrito detalladamente el proceso de diseño electrónico, en esta parte es necesario tener en cuenta cada una de las dimensiones de los componentes, ya que al ser tarjetas electrónicas de alta calidad el aspecto final será algo muy importante para nosotros debido a que al público en general apreciará el producto final debido a la presentación visual con que este cuente, una presentación muy atractiva visualmente para llamar la atención será el objetivo, aunque esto no tenga nada que ver con el funcionamiento total del sistema este factor es muy importante para poder comercializar nuestros diseños electrónicos pues será por la vista como atraeremos a nuestro público ya que solo un ingeniero podría notar la eficiencia del circuito por los componentes y no por sus características visuales. En la Figura 58 se puede observar a cada una de las tarjetas electrónicas que se han diseñado



(a)

(b)

Figura 58. Circuito PCB de la fuente de alimentación para el sistema con los componentes montados (a) Parte del circuito con disipador termico para los C.I. (b) Circuito sin disipador termico para los C.I.

La tarjeta que se muestra en la Figura 58 cuenta con los componentes necesarios para su correcto funcionamiento, pues estos componentes se han seleccionado para cumplir con la aplicación electrónica que se ha planteado, se puede apreciar el uso del disipador recomendado por el fabricante para que los circuitos fundamentales que son los reguladores

de voltaje para esta tarjeta no sean sometidos a valor de estrés que reduzcan su tiempo de vida o el tiempo que pueden ser conectados sin sufrir daño, además de este disipador en el diseño de la carcasa para poder transportar el equipo se plantea el uso de un ventilador



Figura 59. Ventilador de 12V D.C de formato rectangular con cuerpo y aspas plásticas

Para permitir que se genere un flujo de aspiración del aire caliente y el sistema no sea sometido a las altas temperaturas.

Ahora se procede a la descripción de la tarjeta de control que se puede observar en la Figura 60.



Figura 60. Circuito PCB de la etapa de control de la temperatura y la electróbomba

Debido a la condición de tamaño mínimo necesario para poder colocar los componentes en la imagen superior se presentó una imagen sin los componentes y la siguiente con todos los componentes montados

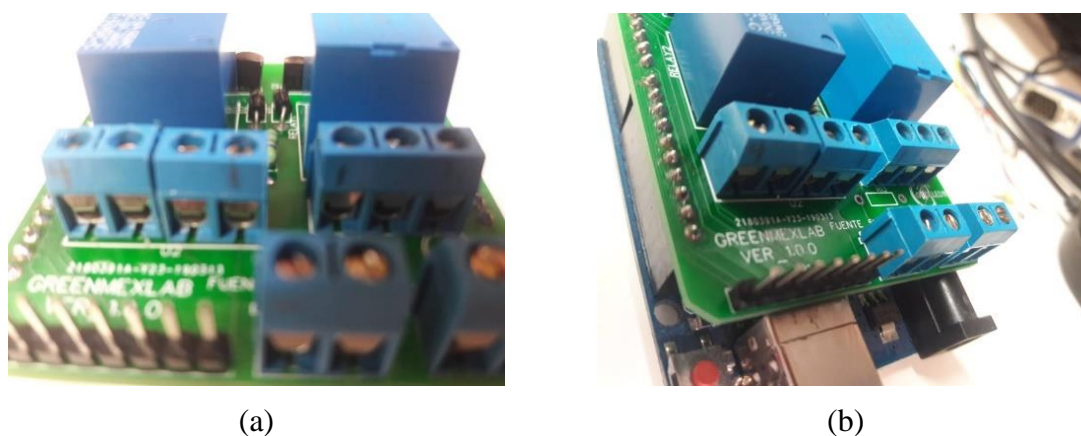


Figura 61. Circuito PCB de la etapa de control de la temperatura y electróbomba (a) Parte superior de la cara con los componentes montados. (b) Parte superior montada en la placa de desarrollo.

Una vez que se han logrado materializar nuestras ideas que se concibieron a través del Capítulo 1 obteniendo la información de los procesos a los cuales este dispositivo ayudara y en el Capítulo 2 se describió todo el proceso de análisis y desarrollo de una tarjeta electrónica usted podría pensar en que el trabajo sea terminado, esto no es verdad pues la tarea de un Ingeniero Eléctrico–Electrónico moderno no sólo es el diseño de tarjetas y componentes electrónicos sino que también es el encargado de diseñar un programa de computadora capaz de comunicarse con el dispositivo correctamente para que este pueda mostrar todas sus características de diseño hasta su grado más alto, si se delegara esta tarea a un ingeniero de otra rama este probablemente haría suposiciones o aseveraciones incorrectas intrínsecas del funcionamiento de todos los dispositivos antes citados y es por esto que esta tarea será desarrollada en este texto en el siguiente capítulo, así que el objetivo aún no ha sido alcanzado pero sí que está más cercano.

CAPÍTULO 3: PROGRAMACIÓN EN TARJETA DE DESARROLLO

El estudio de la electricidad y la electrónica están basados en la aplicación de diseños o arreglos de componentes que al trabajar juntos, sean capaces de producir una señal esperada al ser excitados, el desarrollo de estas ciencias se hizo basado en modelos matemáticos que permitieran describir el funcionamiento de un arreglo experimental a través de ecuaciones matemáticas que normalmente implicarán la derivada o la integral de alguna de nuestras variables de interés (Zill, 2009), estos modelos matemáticos fueron permitiendo el desarrollo de sistemas cada vez más complejos y es así como llegamos al desarrollo de sistemas digitales de alta escala de integración, este tipo de dispositivos ya no se estudia usualmente a través de modelos matemáticos, sino que se usan otros métodos para poder predecir el funcionamiento de sistemas que contemplan una gran cantidad de componentes individuales por lo que no sería conveniente ver la interacción de cada componente individual sino como un sistema completo, estos sistemas permiten que el usuario defina el funcionamiento a través de excitaciones simples pero eficaces para producir un mecanismo de respuesta, estos sistemas digitales usualmente sin memoria o con solo algunos bits de memoria permitieron un gran desarrollo de la tecnología electrónica y con avances en el procesamiento de datos y su almacenamiento es cómo se logró crear equipos con memoria capaces de aceptar perturbaciones y compensarlas para hacer que el funcionamiento deseado se mantuviera (Widmer, 2007).

Los sistemas de esta época ya no permiten el diseño a través de componentes pasivos que no contengan memoria, los sistemas modernos deben de cumplir con las normas de multifuncionalidad, bajo consumo de energía y portabilidad como mínimo en su diseño. Actualmente los sistemas electrónicos están basados en sistemas con un microcontrolador o un procesador como componente clave para su funcionamiento, ya que estos sistemas con memoria permiten almacenar instrucciones (programas) que permitan que los dispositivos actúen o funcionen de una manera predeterminada (Deitel, 2014), por el programador con

anterioridad, cuando las condiciones sean las adecuadas estas instrucciones permitirán cambiar el funcionamiento a través de señales que pueden provenir del interior (intrínsecas) o extrínsecas, es decir del exterior.

En nuestra obra describimos un sistema empotrado, es decir basado en un microcontrolador, específicamente Arduino uno R3. Este programa está basado en el IDE con el mismo nombre de la placa de desarrollo. Nuestro programa está diseñado para tener un contacto íntimo con todos los periféricos que están a nuestra disposición, dentro de esta placa.

Como se ha trabajado desde el principio de esta obra la placa de desarrollo, solamente será un medio de obtener comunicación estable con otros periféricos, ya que principalmente se utilizara, para la conversión de datos, comunicaciones y como generador de disparos para excitar a el sistema electrónico, mucho de los componentes que se eligieron dentro del desarrollo de estas placas para poder llevar a cabo este equipo, fueron electas desde un punto de vista panorámico, ya que no solamente cumplimos con los requerimientos especificados a través de las hojas de datos de los componentes para su selección, sino que también consideramos la necesidad de un programa para hacer que este conjunto de componentes tuvieran un funcionamiento óptimo.

Dentro de este programa se utilizarán recursos como los son teóricos además de prácticos estos recursos nos permiten conocer con claridad lo que está sucediendo en el sistema electrónico de medición y control, para iniciar con la descripción del programa se debe recordar nuestro objetivo particular que es: controlar el flujo de agua dentro del sistema, además de permitir visualizar fácilmente la temperatura en las zonas de interés para un proceso de destilación. desde capítulos anteriores se mencionó que sería necesario mostrar en una pantalla los datos adquiridos por los sensores de temperatura de una manera clara y sencilla para el operador brindado así una mayor oportunidad para brindar sus conocimientos técnicos al buen término del proceso que está realizando, sin tener que preocuparse por verificar la temperatura dentro del condensador del vapor enriquecido o la temperatura dentro del líquido madre. Muchas de estas características programadas no fueron intencionadas hacia un funcionamiento manual, es decir siempre fue fundamental que este sistema fuera automático, cuando se hace referencia a la palabra automático se refiere al hecho de que comenzara su trabajo sin necesidad de una señal externa, aunque se permite que el usuario

interactúe con el programa a través de un teclado matricial como usted ya lo sabe. Se expondrán los demás temas del programa una vez que usted lo haya leído, pero antes de eso será necesario que el lector tenga consideración sobre los fundamentos de programación estructurada (Deitel, 2014) y los principales protocolos de comunicación entre microcontroladores, ya que aquí se requerirá hacer un uso de varios protocolos de comunicación al mismo tiempo (Cándido Bariáin, 2019).

3.1 TIPO DE MICROCONTROLADORES

En la sección anterior expusimos que se utilizara al Arduino UNO R3 para poder darle vida a el equipo, pero es obvio que en el mercado nacional moderno este no es el único dispositivo disponible comercialmente, hay muchos equipos disponibles que podrían ser sustitutos para este sistema, muchas de las características que brinda el Arduino 1R3 nos han sido suficientes para llevar a cabo esta aplicación sin llevar a la placa de desarrollo a un funcionamiento cercano a su límite. los microcontroladores se pueden dividir en dos grandes familias una de ellas tendrá un comando reducido de instrucciones, mientras que el otro lo tendrá ampliado, la manera de comunicarse puede ser a través de un sólo bus o varios buces de datos, aunque actualmente estos principios básicos de funcionamiento ya no describen de una manera eficaz a los sistemas modernos, pero sirven como base para su entendimiento.

las principales empresas de desarrollo de placas de desarrollo también fabrican microcontroladores, así que es usual que estas placas de desarrollo se encuentren con uno o varios microcontroladores y varios chips montados en una sola estructura rígida, este tipo de tarjetas es muy popular actualmente ya que permite a un novato en electrónica desarrollar sistemas sin conectar un sólo cable.

3.2 TIPOS DE TARJETAS DE DESARROLLO

En esta sección veremos que las populares tarjetas de desarrollo cubren con características sorprendentes hablando de frecuencias de trabajo muy altas (*GHz*) bajo consumo de energía y portabilidad como en este caso el Arduino nos permitió poder controlar varios periféricos y sensores que son muy populares mundialmente y que en las demás tarjetas de desarrollo por desgracia no suele ocurrir, como usted sabrá muchas de las placas de desarrollo de otros

fabricantes no sufren el mismo efecto que el Arduino, es decir no logran atrapar al público haciendo que pocas personas trabajen con placas de otras empresas mientras que muchos se agrupan con la placa que este sistema se ha elegido.

Estas placas de desarrollo usualmente están diseñadas para ser utilizadas dentro de los sistemas modernos más exigentes, estas placas van desde varios cientos de pesos hasta unos miles algunas veces el precio podrá decirnos las características de nuestra placa de desarrollo, aunque algunas veces no será así ya que en la actualidad muchos de los sistemas se desarrollan a escalas super masivas donde el precio se abarata y las tecnologías son las de más alto prestigio actualmente.

3.2.1 ARDUINO

La placa de desarrollo Arduino actualmente goza de mucha popularidad y esto se debe a que permite tener una gran versatilidad para construir diferentes tipos de sistemas electrónicos con facilidad de forma virtual al igual que física, la placa de desarrollo programable generalmente está constituida por un microcontrolador como componente fundamental y un código de programación que se ejecutara con una computadora con conexión terminal USB entre la computadora y el Arduino. El lenguaje de programación utilizado en esta placa es una versión basada en C++, permitiendo desarrollar programas dentro de su propio ambiente integral de desarrollo que lleva el mismo nombre (Future Electronic Corporation, 2019).



Figura 62. Tarjeta de desarrollo Arduino Uno R3

3.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PLACA DE DESARROLLO ARDUINO UNO-R3

Esta placa de desarrollo está basada en un microcontrolador, el Microcontrolador ATMEGA328P-PU es sin duda el componente fundamental en el Arduino Uno R3 este es un microcontrolador de 8 bits de arquitectura RISC avanzada, además de contar con una memoria flash que puede llegar hasta los 32 Kbyte. Las principales características por resaltar de esta placa son las siguientes:

- Alto rendimiento, AVR de baja potencia.
- 131 potentes instrucciones: la mayoría de la ejecución del ciclo de reloj único.
- 32Kb x 8 registros de trabajo de propósito general.
- Hasta 20 MIPS a 20 MHz.
- Multiplicador de 2 ciclos en chip.
- Segmentos de memoria no volátiles de alta resistencia.
- 4/8/16 / 32K Bytes de la memoria del programa Flash autoprogramable en el sistema.
- 256/512/512 / 1K Bytes EEPROM.
- 512 / 1K / 1K / 2K Bytes SRAM interna.
- Ciclos de escritura / borrado: 10,000 Flash / 100,000 EEPROM.
- Retención de datos: 20 años a 85 ° C / 100 años a 25 ° C.
- Sección de código de arranque opcional con bits de bloqueo independientes.
- Programación en el sistema por programa de arranque en chip.

3.2.1.2 CARACTERÍSTICAS PERIFÉRICAS

Las características internas que conforman las diferentes líneas de entrada y salida de información llamados periféricos del microcontrolador AVR, que permiten realizar una gran variedad de operaciones y se exponen a continuación.

- Dos temporizadores / contadores de 8 bits con preescalador separado y modo de comparación.
- Un temporizador / contador de 16 bits con preescalador separado, modo de comparación y modo de captura.
- Contador de tiempo real con oscilador separado.
- Seis canales PWM.
- ADC de 8 canales y 10 bits en TQFP y paquete QFN / MLF.
- ADC de 6 canales y 10 bits en paquete PDIP.

-
- USART Serial Programable o Master / Slave SPI Serial Interface.
 - Interfaz serial de 2 hilos orientada a bytes que es compatible con el protocolo desarrollado por Philips llamado I2 C).
 - Comparador analógico en chip.

3.2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Las características del modo de operación como el consumo de energía o niveles de voltaje, ahorro y velocidad de operación para su funcionamiento. Como se mencionan a continuación:

- Reinicio de encendido y detección programable de bajo voltaje
- Oscilador interno calibrado
- Fuentes de interrupción externa e interna
- Seis modos de reposo: inactivo, reducción de ruido ADC, ahorro de energía, apagado, espera y espera extendida
- 23 líneas de E / S programables
- Tensión de funcionamiento: 1.8 - 5.5V
- Rango de temperatura: -40 ° C a 85 ° C
- Grado de velocidad: 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5.V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Consumo de energía a 1 MHz, 1.8V, 25 ° C
- Modo activo: 0.2 mA
- Modo de apagado: 0.1 μ A
- Modo de ahorro de energía: 0,75 μ A (incluido RTC a 32 kHz)

3.2.1.3 ATMEGA16U2- MICROCONTROLADOR MU

Es un microcontrolador de 8 bits que se utiliza para la comunicación con el ATMEGA328P-PU USB por medio de la programación. Cuando cargamos un programa en Arduino desde el USB con el IDE, estamos haciendo uso del bootloader, se trata de un pequeño programa que ha sido guardado previamente en el microcontrolador de la placa y que nos permite cargar código sin necesidad de hardware adicional. El bootloader solo está activo unos segundos cuando se reinicia el Arduino y después comienza el sketch que está cargado en el flash de

Arduino y que hemos programado y subido a la placa. El bootloader se ejecuta cuando el microcontrolador se enciende o se pulsa el botón reset, durante un corto espacio de tiempo espera que le llegue por el puerto serie un nuevo sketch desde el IDE de Arduino (este distingue un sketch de otra cosa porque tiene un formato definido). Si llega un sketch, este es guardado en la memoria flash y ejecutado, en caso contrario ejecuta el sketch anteriormente cargado. La mayoría de los Arduino tienen la función autoreset que permite al IDE de Arduino subir el código sin tener que pulsar el botón de reset. La mayoría de los microcontroladores de AVR pueden reservar una zona de la memoria flash (entre 256B a 4 KB) para el bootloader. El programa bootloader reprograma el microcontrolador para guardar en la memoria flash el código binario a través de cualquier interface disponible. El bootloader de Arduino está programado en la memoria flash del ATmega328p y ocupa 0,5 KB de los 32KB disponibles. Este bootloader viene precargado en la memoria flash del microcontrolador y es lo que diferencia el ATmega328p de Arduino de otro que viene de fábrica. El Arduino UNO viene con el microcontrolador ATmega328p precargado con un bootloader que permite cargar nuevo código sin un programador. El bootloader se comunica usando el protocolo de comunicación STK500. El protocolo STK500 es propio de Atmel (Microchip, 2018). Es un protocolo serie y los programadores emulan este protocolo sobre un puerto serie virtual en un USB. Originalmente STK500 fue un programador fabricado por Atmel y a raíz de ello liberaron el protocolo STK500. Arduino decidió usar `avrdude` y STK500 serial bootloader para programar o cargar nuevos programas en Arduino sin necesidad de HW adicional. El bootloader de Arduino es esencialmente el bootloader STK500 de Atmel. Las MCUs AVR de 8bits ATmega con interfaz USB integrado como son el ATmega16U2 y ATmega8U2, vienen de fábrica un USB bootloader en la sección de arranque de la memoria flash. Este bootloader USB permite hacer Programación dentro del Sistema (por sus siglas en Inglés ISP *In-System programming*) desde USB host controller sin la necesidad de un HW externo. En este documento se describe las funcionalidades del USB bootloader: El puerto serie durante el proceso de bootloader funciona a 19200 baudios. El bootloader estándar de Arduino usa el protocolo STK500 versión 2 y por ese motivo es el valor que usamos en el IDE de Arduino (Crespo, 2018). Los comandos para “quemar” el bootloader en Arduino usan una herramienta de código abierto (open source) llamada `avrdude`, de la que se hablará más tarde. Hay cuatro pasos a la hora de cargar el bootloader:

-
- Desbloquear la sección de bootloader en el chip
 - Configurar los fuses en la MCU
 - Cargar el código del bootloader en el microcontrolador
 - Bloquear la sección del bootloader en la MCU

Las características de operación son las siguientes:

- Memorias de datos y programas no volátiles
- 8K / 16K / 32K bytes de flash autoprogramable en el sistema
- 512/512/1024 EEPROM
- 512/512/1024 SRAM interna
- Ciclos de escritura / borrado: 10,000 Flash / 100,000 EEPROM
- Retención de datos: 20 años a 85 ° C / 100 años a 25 ° C
- Programación en el sistema mediante el programa de arranque en chip activado por hardware después del reinicio
- Módulo de dispositivo de velocidad completa USB 2.0 con interrupción al finalizar la transferencia

CARACTERÍSTICAS PERIFÉRICAS

- Un temporizador / contadores de 8 bits con preescalador separado y modo de comparación (dos canales PWM de 8 bits)
- Un temporizador / contador de 16 bits con preescalador separado, modo de comparación y captura (tres canales PWM de 8-bits)
- USART con modo maestro SPI y control de flujo de hardware (RTS / CTS)
- Master / Slave SPI Serial Interface
- Tensiones de operación de 2.7 - 5.5V
- Temperatura de funcionamiento Industrial (-40 ° C a + 85 ° C)

3.2.2 LAUNCHPAD

Los microcontroladores de la serie Tiva™ C de Texas Instrument como se muestra en la Figura 63, permiten una alta eficiencia, están basados en la arquitectura ARM® Cortex™-M con un conjunto de capacidades integradas y un fuerte ecosistema de software y desarrollo

de herramientas. Enfocándose en la eficiencia y flexibilidad, la arquitectura de la serie Tiva™ C ofrece un Cortex-M de 80MHz con FPU.

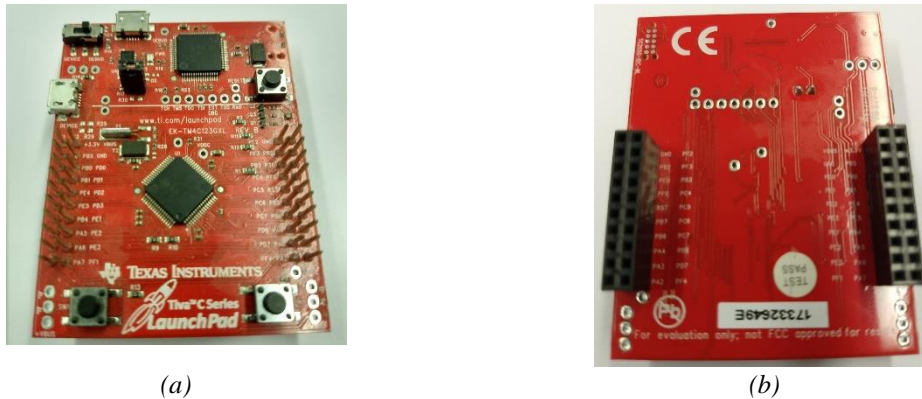


Figura 63. a) Tarjeta de desarrollo Launch Pad Tiva C Series vista superior. b) Tarjeta de desarrollo Launch Pad Tiva C Series vista inferior.

Una variedad de memorias integradas y puertos generales de entrada y salida por sus siglas en inglés (GPIO). La serie de dispositivos Tiva™ C ofrece a los consumidores una solución competitiva a bajo costo con alta eficiencia en aplicaciones de 32 bits (Texas Instruments, 2014) y estas características se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16. Características de la tarjeta de Desarrollo Tiva C Series TM4C123G (Texas Instruments, 2014).

Características	Descripción
Funcionamiento	
Procesador	Núcleo de procesador ARM Cortex-M4F
Eficiencia(frecuencia)	Operación a 80-MHz; eficiencia de 100 DMIPS
Memoria Flash	Memoria Flash de un solo ciclo de 256 KB
SRAM del sistema	SRAM de un solo ciclo de 32KB
EEPROM	EEPROM de 2KB
ROM Interna	ROM interna cargada con TivaWare para software de las series C
Seguridad	
Interfaces de comunicación	
Receptor/Transmisor Universal Asíncrono	Ocho UARTs
Interfaz Serial Síncrona (SSI)	Cuatro módulos SSI
Circuito Inter-Integrado	Cuatro módulos I ² C con cuatro velocidades de transmisión incluyendo el modo de alta velocidad
Red de Control de Área (CAN)	Dos controladores CAN 2.0 A/B
Bus Serial Universal (USB)	USB 2.0 OTG/HOST/Device
Integración del Sistema	

Micro memoria de acceso directo(μ)	Controlado μ DMA de 32 canales configurables ARM® PrimeCell®
Timer de propósito general (GPTM)	Seis bloques de timers de 16/32 bits
Watchdog timer(WDT)	2 timer watchdog
Módulo de Hibernación (HIB)	Módulo de hibernación de bajo consumo
Propósito General Entradas/Salidas (GPIO)	6 puertos físicos de GPIO
Soporte Analógico	
Convertidor Analógico-Digital (ADC)	Dos módulos de ADC de 12 bits, cada uno con una velocidad máxima de muestreo de un millón de muestras/Segundo
Controlador analógico comparador	Dos comparadores analógicos independientes integrados
Comparador digital	16 comparadores digitales
Información de empaque	
Empaque	64-pin LQFP
Rango de operación (Ambiente)	Rango de temperatura (-40°C a 85°C)

3.2.3 RASPBERRY PI

La tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B V1.2 se muestra en la Figura 64, Raspberry Pi Compute Module (CM1) Compute Module 3 (CM3) y Compute Module 3 Lite (CM3L) son sistemas en módulos (SoM) compatibles con DDR2-SODIMM mecánicamente que contienen procesador, memoria, eMMC Flash (para CM1 y CM3) y circuitos de alimentación compatibles. Estos módulos permitir que un diseñador aproveche la pila de hardware y software de Raspberry Pi en sus propios sistemas personalizados y factores de forma. Además, estos módulos tienen interfaces de E / S adicionales más allá de lo que está disponible en Los tableros modelo A / B de Raspberry Pi abren más opciones para el diseñador.



(a)



(b)

Figura 64. a) Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B V1.2 vista superior. b) Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B V1.2 vista inferior.

El CM1 contiene un procesador BCM2835 (como se usa en las Raspberry Pi y Raspberry Pi B + originales modelos), 512MByte LPDDR2 RAM y 4Gbytes eMMC Flash. El CM3 contiene un procesador BCM2837 (tal como se usa en la Raspberry Pi 3), 1Gbyte LPDDR2 RAM y 4Gbytes eMMC Flash. Finalmente, El producto CM3L es el mismo que el CM3, excepto que eMMC Flash no está instalado, y la interfaz SD / eMMC los pines están disponibles para que el usuario conecte su propio dispositivo SD / eMMC.

Tenga en cuenta que el procesador BCM2837 es una evolución del procesador BCM2835. Las únicas diferencias reales es que el BCM2837 puede direccionar más RAM (hasta 1 Gbyte) y el complejo de CPU ARM ha sido actualizado de un solo núcleo ARM11 en BCM2835 a un Quad core Cortex A53 con 512Kbyte dedicado L2 caché en BCM2837. Todas las interfaces IO y los periféricos permanecen iguales y, por lo tanto, los dos chips son en gran parte compatible con software y hardware.

Las Características del Hardware se describen a continuación:

- Bajo costo.
- baja potencia.
- Alta disponibilidad.
- Alta fiabilidad.

La descripción de los periféricos de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Modelo B V1.2 son:

- 48x GPIO.
- 2x I2C.
- 2x SPI.
- 2x UART.
- 2x SD / SDIO.
- 1x HDMI 1.3a.

-
-
- 1x USB2 HOST / OTG.
 - 1x DPI (pantalla RGB paralela).
 - 1x interfaz NAND (SMI).
 - 1x interfaz de cámara CSI de 4 carriles (hasta 1 Gbps por carril).
 - 1x interfaz de cámara CSI de 2 carriles (hasta 1 Gbps por carril).
 - 1x interfaz de pantalla DSI de 4 carriles (hasta 1 Gbps por carril).
 - 1x interfaz de pantalla DSI de 2 carriles (hasta 1 Gbps por carril).

Las características de Software para la comunicación y operación de la tarjeta de desarrollo son las siguientes:

- Conjunto de instrucciones ARMv6 (CM1) o ARMv7 (CM3, CM3L).
- Pila de software Linux madura y estable.
- Último soporte de Linux Kernel.
- Muchos conductores Upstreamed.
- Tierra de usuarios estable y bien soportada.
- Disponibilidad total de las funciones de GPU utilizando API estándar

Las especificaciones de alimentación y consumo eléctrico se presentan en la siguiente sección:

La fuente de alimentación para el módulo de cálculo se compone de seis suministros separados que deben estar presentes y alimentados en todo momento; no se puede dejar cualquiera de ellos sin alimentación, incluso si no se utiliza una interfaz específica o un banco GPIO. Que son los siguientes:

1. VBAT se utiliza para alimentar el núcleo del procesador BCM283x. Alimenta el SMPS que genera el chip voltaje de la base.
2. 3V3 alimenta varios PHM BCM283x, IO y el eMMC Flash.
3. 1V8 alimenta a varios PHM BCM283x, IO y SDRAM.
4. VDAC alimenta el DAC compuesto (salida de TV).

5. GPIO0-27 VREF alimenta el banco GPIO 0-27 IO.

06. GPIO28-45 VREF alimenta el banco GPIO 28-45 IO.

La secuencia de suministro debe escalonarse para que el voltaje más alto aparezca primero, luego los voltajes restantes en orden descendente. Esto es para evitar la polarización directa de diodos internos (en chip) entre los suministros, y causando enganche. Alternativamente, los suministros se pueden sincronizar para que aparezcan exactamente al mismo tiempo que siempre que, en ningún momento, un voltaje de riel de suministro de voltaje más bajo exceda un voltaje de riel de suministro de voltaje más alto.

Los requerimientos de energía y de potencia exactos dependerán en gran medida del caso de uso individual. Si un subsistema en chip no se utiliza, generalmente se encuentra en un estado de bajo consumo o completamente apagado. Por ejemplo, si su aplicación no utiliza gráficos 3D, por lo que una gran parte de la lógica digital central nunca se encenderá y necesitará energía. Este es también el caso de las interfaces de cámara y pantalla, HDMI, interfaces USB, codificadores de video y decodificadores, y así sucesivamente. El diseño de la cadena de alimentación es fundamental para el funcionamiento estable y confiable del módulo de cálculo. Nosotros fuertemente recomendamos que los diseñadores dediquen tiempo a medir y verificar los requisitos de potencia para sus necesidades particulares. uso y aplicación, además de prestar mucha atención a la secuencia de la fuente de alimentación y la máxima tolerancia de tensión de alimentación. Para el proceso de arrancando el dispositivo flash eMMC de 4GB en el CM3 está directamente conectado a la interfaz principal BCM2837 SD / eMMC. Estas conexiones no son accesibles en los pines del módulo. En CM3L esta interfaz SD está disponible en los pines SDX. Cuando se enciende inicialmente, o después de que el pin RUN se haya mantenido bajo y luego se haya liberado, el BCM2837 intentará acceder a la interfaz SD / eMMC principal. Luego buscará un archivo llamado *bootcode.bin* en la partición primaria (que debe ser FAT) para iniciar el arranque del sistema. Si no puede acceder al SD / eMMC dispositivo o el código de inicio no se puede encontrar, se volverá a esperar a que se escriba el código de inicio en él USB; en otras palabras, su puerto USB está en modo esclavo a la espera de aceptar el código de inicio de un host adecuado. Una herramienta de arranque USB está disponible en GitHub que permite que una PC host que

ejecuta Linux escriba el BCM2837 código de arranque a través de USB al módulo. Ese código de inicio se ejecuta y proporciona acceso al SD / eMMC como un Dispositivo de almacenamiento masivo USB, que luego se puede leer y escribir usando la PC host.

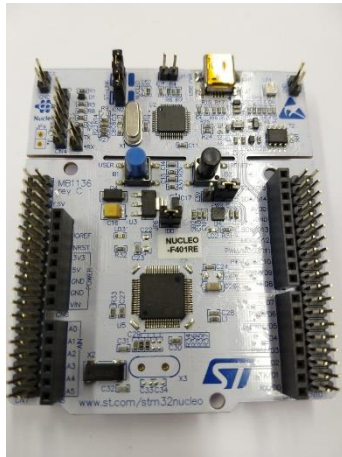
Tenga en cuenta que una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Modelo B V1.2 Puede ser utilizado como la máquina host. Para aquellos que usan Windows hay disponible una herramienta recompilada y empaquetada (Raspberry Pi Ltd, 2019)

3.2.5 TARJETA DE DESARROLLO STMICROELECTRONICS NUCLEO F401RE

Las características de la placa de desarrollo de la empresa STMicroelectronics para el modelo de placa NUCLEO-F401RE usando un microcontrolador ARM STM32F401 como se muestra en la Figura 65, esta proporciona una forma y flexible para que los usuarios prueben nuevos conceptos y construya prototipos con los microcontroladores STM32, eligiendo entre varios Combinaciones de rendimiento, consumo de energía y características.

Para los tableros compatibles. El SMPS reduce significativamente el consumo de energía en el modo Ejecutar. El soporte de conectividad Arduino TM Uno V3 y los encabezados de morfo ST permiten la facilidad. Ampliación de la funcionalidad de la plataforma de desarrollo abierto STM32 Núcleo con una amplia Elección de escudos especializados.

La placa STM32 Nucleo-64 no requiere ninguna sonda separada ya que integra la ST-LINK / V2-1 depurador y programador. La placa STM32 Nucleo-64 viene con la biblioteca HAL de software integral STM32 junto con varios ejemplos de software empaquetado, así como acceso directo a Arm®



(a)



(b)

Figura 65. a) Tarjeta de desarrollo nucleo-f401re vista superior. b) Tarjeta de nucleo-f401re vista inferior.

Las características principales de la tarjeta de desarrollo se muestran a continuación:

- Microcontrolador STM32 en paquete LQFP64.
- SMPS externo para generar suministro de lógica Vcore.
- 1 LED de usuario compartido con Arduino TM.
- 1 usuario y 1 pulsadores de reinicio.
- 32.768 kHz oscilador de cristal LSE.
- Conectores de expansión de placa.

Dentro de los requisitos principales del sistema operativo para la programación de la tarjeta de desarrollo son:

- Windows® OS (7, 8 y 10), Linux® de 64 bits o macOS®.
- Cable USB Tipo A a Mini B o Cable USB Tipo A a Micro B.

Se cuentan con distintas herramientas de desarrollo compatibles con la tarjeta de desarrollo como son:

- Keil®: MDK-ARM.
- IAR TM: EWARM.
- IDE basados en GCC.
- Arm® Mbed TM en línea.

El software de demostración, incluido en el paquete MCU STM32Cube, está precargado en la Memoria flash STM32 para una fácil demostración de los periféricos del dispositivo en modo independiente. Las últimas versiones del código fuente de demostración y la documentación (STMicroelectronics, 2019).

3.3 PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA DE DESARROLLO

En las secciones anteriores se dio una descripción de la tarjeta de desarrollo que se utilizará, no se abordará toda la teoría de programación sólo se menciona la información necesaria por medio del uso de comentarios al final de cada línea de código para su programación, El desarrollo del circuito impreso es la parte fundamental del arreglo experimental implementado para el control de variables físicas. A continuación, se muestra el código fuente de la programación a través de líneas de comando como se observa:

```
#include <Keypad.h> // biblioteca de teclado
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // librería para comunicación con el driver de la pantalla
#include <Wire.h> // librería de protocolo de comunicación wire
#include <DallasTemperature.h> // librería para el termómetro sumergible
#include <OneWire.h> // librería de protocolo de comunicación para el sensor sumergible
#include "max6675.h" // librería para controlador del termómetro tipo termopar
const byte filas = 4; // número de filas

const byte colum = 4; // número de columnas
int so1Pin = A1; // definición de variable so1Pin y asignación con el pin A1
int sck1Pin = A0; // definición de variable sck1Pin y asignación con el pin A0
int so2Pin = A2; // definición de variable so2Pin y asignación con el pin A2
int sck2Pin = A3; // definición de variable sck2Pin y asignación con el pin A3
int cs1Pin = 8; // definición de variable cs1Pin y asignación con el pin 8
int cs2Pin = 9; // definición de variable cs2Pin y asignación con el pin A0

MAX6675 thermocouple1(sck1Pin, cs1Pin, so1Pin);

// función definida dentro de la librería del driver para el termómetro tipo termopar, que hará la correlación entre la función thermocouple
// y los pines asociados como parámetros para la comunicación.

MAX6675 thermocouple2(sck2Pin, cs2Pin, so2Pin);
```

// función definida dentro de la librería del driver para el termómetro tipo termopar, que hará la correlación entre la función thermocouple y los pines asociados como parámetros para la comunicación.

```
int AUT; // definición de la función AUT que servirá como flag para el
funcionamiento automático

int temperatura Actual; // definición de la función temperatura actual servirá para almacenar la
temperatura en las zonas de interés

int limiteSuperior; // definición de la variable límite superior que será el valor máximo de
temperatura para el líquido que se circulara por el condensador

int Calentar = 10; // definición de la variable calentar y asignación con el pin 10, servirá de
variable de control para la resistencia (C.A.)

int Bomba = 11; // definición de la variable bomba y asignación con el pin 11, servirá de
variable de control para el bombeo (C.D.)

const byte pinDatosDQ = 12; // variable de comunicación tipo byte asignada al pin digital 12, permite la
comunicación con el termómetro sumergible

int temperaturaMuestra; // Definición de variable para toma de datos número 1

int temperaturaMuestra1; // Definición de variable para toma de datos número 2

OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ); // función generadora del constructor para el objeto pin datos DQ, que
permite la comunicación entre el termómetro sumergible

DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto); // Función de enlace entre los datos y el microcontrolador del termómetro
sumergible

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // Función definida en la biblioteca del driver para la pantalla, se introducen
como parámetros la dirección, el número de columnas y de filas
respectivamente

char hexaKeys [filas][column] = { // Función de definición para el teclado matricial, se identifica como
parámetros a las filas y las columnas, y dentro de las llaves se describe el
teclado visualmente
{'1','2','3','A'},
{'4','5','6','B'},
{'7','8','9','C'},
{'*','0','#','D'},
};

byte pines Fila[filas] = {3,2,1,0}; // Función de definición de los pines que se conectarán con las filas para su
posible excitación

byte pinesColumn[column] = {7,6,5,4}; // Función de definición de los pines que se conectarán con las columnas
para su posible excitación

Keypad customKeypad = Keypad (makeKeymap(hexaKeys), pinesFila, pinesColumn, filas, column);

// Función de enlace entre el teclado y el microcontrolador, como parámetros se introducen los pines a los que está conectado el teclado

void setup () { // Función de configuración para la velocidad de comunicación y
definiciones de pines de entrada y salida

pinMode (Calentar, OUTPUT); // Configuración de pin calentar como salida

pinMode (Bomba, OUTPUT); // Configuración de pin bomba como salida

digitalWrite (Calentar, LOW); // Verificación de estado bajo para el calentador al iniciar el programa

digitalWrite (Bomba, LOW); // Verificación de estado bajo para la bomba al iniciar el programa

lcd.init(); // Función de inicialización de protocolos para la pantalla
```

```

lcd.backlight(); // Función para energizar la luz de contraste para la pantalla lcd

lcd.clear(); // Función para limpiar la memoria y mostrar el lcd limpio

Serial.begin(9600); // Se configura e inicializa la velocidad de comunicación a 9600bauds y en
                    // forma serial a través del USB

sensorDS18B20.begin(); // Se inicializa la comunicación del sensor sumergible

msj_Bienvenida (); // Se llama a la función msj_Bienvenida (); definida por nosotros

digitalWrite (Calentar, LOW) // Segunda verificación para mantener en estado bajo al calentador

digitalWrite (Bomba, LOW); // Segunda verificación para mantener en estado bajo para la bomba

limiteSuperior = 40; // Se ajusta el límite de temperatura a 40°C

AUT=0;} // Se le asigna 0 a la variable AUT

void loop () { // Función repetitiva

char customKey = customKeypad.getKey(); // Se solicita la señal del teclado si es que la hay

if (customKey != NO_KEY) { // Instrucción de control general, sino se presiona ningún botón se usará el
                            // programa automático

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla 1 en el teclado matricial, se asigna a la variable AUT=3. Se verifica que las cargas
principales que son el calentador y la bomba estén apagadas, se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta
tecla.
Se llama a la función boton_1();

if (customKey == '1') {
AUT=3;
digitalWrite (Calentar, LOW);
digitalWrite (Bomba, LOW);
lcd.clear();
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
lcd.setCursor(9,3);
lcd.print ("1");
delay (750);
boton_1();
}

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla 2 en el teclado matricial. Se verifica que las cargas principales que son el
calentador y la bomba estén apagadas, se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se llama a la
función boton_2();

if (customKey == '2') {
digitalWrite (Calentar, LOW);
digitalWrite (Bomba, LOW);
lcd.clear();
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCIÓN: ");
lcd.setCursor(9,3);
lcd.print ("2");
delay (750);
boton_2();
}

```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla 3 en el teclado matricial, se asigna a la variable AUT=3. Se verifica que las cargas principales que son el calentador y la bomba estén apagadas, se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se llama a la función boton_3();

```
if (customKey == '3') {
  AUT=3;
  digitalWrite (Calentar, LOW);
  digitalWrite (Bomba, LOW);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
  lcd.setCursor(9,3);
  lcd.print ("3");
  delay(750);
  boton_3();
}
```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla 4 en el teclado matricial. Se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se llama a la función botón 4(); Se direcciona hacia la etiqueta inicio.

```
if (customKey == '4') {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor (3,0);
  lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
  lcd.setCursor (9,3);
  lcd.print ("4");
  delay(750);
  boton_4();
  goto inicio;
}
```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla 5 en el teclado matricial. Se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se llama a la función botón 5(); Se direcciona hacia la etiqueta inicio.

```
if (customKey == '5') {
  lcd.clear ();
  lcd.setCursor (3,0);
  lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
  lcd.setCursor (9,3);
  lcd.print ("5");
  delay(750);
  boton_5();
  goto inicio;
}
```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla 6 en el teclado matricial. Se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se llama a la función botón 6(); Se direcciona hacia la etiqueta inicio.

```
if (customKey == '6') {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor (3,0);
  lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
  lcd.setCursor (9,3);
  lcd.print ("6");
  delay(750);
  boton_6();
  goto inicio;
}
```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla 0 en el teclado matricial. Se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se direcciona hacia la etiqueta setup.

```

if (customKey == '0') {
  for(int i=0; i++; i=3) {
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor (3,0);
    lcd.print ("SE REINICIARÁ EL
SISTEMA");
    lcd.setCursor (9,3);
  }
  setup;
}

```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla A en el teclado matricial. Se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se llama a la función botón A (); Se direcciona hacia la etiqueta inicio.

```

if (customKey == 'A') {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor (3,0);
  lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
  lcd.setCursor (9,3);
  lcd.print("A");
  delay(750);
  boton_A ();
  goto inicio;
}

```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla B en el teclado matricial. Se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se llama a la función botón B (); Se direcciona hacia la etiqueta inicio

```

if (customKey == 'B') {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor (3,0);
  lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
  lcd.setCursor (9,3);
  lcd.print("B");
  delay(750);
  boton_B ();
  goto inicio;
}

```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla D en el teclado matricial. Se limpia la pantalla y se hace saber al usuario que acaba de presionar esta tecla. Se llama a la función botón D ();

```

if (customKey == 'D') {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor (3,0);
  lcd.print ("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
  lcd.setCursor (9,3);
  lcd.print("D");
  delay(750);
  boton_D ();
}

```

// Función selectiva si es que se ha presionado la tecla * en el teclado matricial. Se hace saber al usuario que esta es la función automática. Se le muestra al usuario la temperatura del agua en grados Celsius, se solicita la temperatura a través de un comando y se guarda en la variable tempActual. Se asigna el rango de trabajo de temperatura en el condensador, que estará comprendido entre 0 y el límite superior, si la temperatura actual se encuentra en este rango se desplegará el mensaje en la pantalla indicando que el calentador está activo y la bomba inactiva. Se llama a la función temperaturas (), y se direcciona a la etiqueta de inicio generando así un ciclo infinito.

```

if(customKey == '*'){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print("USTED SELECCIONO LA OPCION: ");
  lcd.setCursor(9,3);
  lcd.print("AUTOMATICO");
  delay(750);
inicio:
  AUT=2;
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("Temperatura agua");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print(" en C: ");
  lcd.setCursor(10,3); lcd.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0)); sensorDS18B20.requestTemperatures();
float tempActual = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
if (tempActual >= 0 && tempActual < limiteSuperior) {
  lcd.clear ();
  lcd.setCursor (1,0);
  lcd.print ("CALENTADOR ACTIVO");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print ("BOMBEO INACTIVO");
  digitalWrite(Calentar, HIGH);
  digitalWrite (Bomba, LOW); temperaturas ();
  delay(1000);
  goto inicio;
}
}
}

```

// Si no se ha presionado ninguna tecla por segunda ocasión se mostrará la temperatura de las zonas de interés. Además, se inicia con el programa automático número 2, el cual establece que si el límite de la temperatura es excedido por 2 grados Celsius el calentador se apagará automáticamente, además si el límite superior es menor a la temperatura actual del líquido en el condensador se activará el bombeo automáticamente.

```

if(customKey == NO_KEY){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print("Tecnología CTA");
  delay(300);
  temperaturas();
  delay(1000);
  if(AUT == 2){
  sensorDS18B20.requestTemperatures();
  float tempActual = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
  if(tempActual > (limiteSuperior+2)){
  lcd.clear();
  lcd.print("CALENTADOR INACTIVO");
  digitalWrite(Calentar,LOW); delay(1000);
  }
  if(tempActual > limiteSuperior ){ lcd.clear();
  lcd.setCursor(2,2); lcd.print("BOMBEO ACTIVO"); digitalWrite(Bomba,HIGH); delay(1000);
  }
  if (tempActual < (limiteSuperior-1)) {goto inicio;
  }
  }
}

```

Sección automática número 3, si llegará a alcanzarse una temperatura igual o mayor a 100 grados Celsius se apagará automáticamente al calentador

```

if (AUT == 3) {sensorDS18B20.requestTemperatures();
float tempActual =
sensorDS18B20.getTempCByIndex(0); if (tempActual >= 100) {digitalWrite (Calentar, LOW);
}
}
}
}
}

```

//Función de bienvenida definida por el programador en este caso por nosotros, siendo este mensaje que se despliega en equipo, dando tiempo a que el operador pueda tomar una posición cercana a la pantalla y poder leer las lecturas.

```
void msj_Bienvenida ()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(2,0); lcd.print("Tecnología CTA");
  delay(300);
  lcd.setCursor(0,1); lcd.print("TECNOLOGIA ");
  delay(300);
  lcd.setCursor(6,2);
  lcd.print(" E ");
  delay(300);
  lcd.setCursor(8,3);
  lcd.print(" INNOVACION");
  delay(300);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("EN LA EXTRACCION");
  delay(300);
  lcd.setCursor(8,2);
  lcd.print("DE ACEITES");
  delay(300);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print("Tecnología CTA ");
  delay(300);
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("TECNOLOGIA ");
  delay(300);
  lcd.setCursor(6,3);
  lcd.print(" E ");
  delay(300);
  lcd.setCursor(8,4);
  lcd.print(" INNOVACION");
  delay(300);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print("EN LA EXTRACCION");
  delay(300);
  lcd.setCursor(9,2);
  lcd.print("DE ACEITES");
  delay(300);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(2,2);
  lcd.print("Tecnología CTA ");
  delay(300);
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("TECNOLOGIA ");
  delay(300);
  lcd.setCursor(6,4);
  lcd.print(" E ");
  delay(300);
  lcd.setCursor(8,1);
  lcd.print(" INNOVACION");
  delay(300);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(4,2);
  lcd.print("EN LA EXTRACCION");
  delay(300);
  lcd.setCursor(9,3);
  lcd.print("DE ACEITES");
  delay(300);
  lcd.clear();
}
```

```
void boton_1() {
digitalWrite (Calentar, HIGH);
digitalWrite (Bomba, HIGH);
lcd.clear ();
lcd.setCursor (1,0);
lcd.print ("BOMBEO ACTIVO");
lcd.setCursor (1,2);
lcd.print ("CALENTADOR ACTIVO");
}
```

// Función para el botón 1, este botón activará el bombeo y calentamiento hasta alcanzar la temperatura límite de 100 grados Celsius. No importará que temperatura tenga el calentador, el bombeo seguirá activo.

```
void boton_2() {
digitalWrite (Calentar, LOW);
digitalWrite (Bomba, HIGH);
lcd.clear ();
lcd.setCursor (1,0);
lcd.print ("BOMBEO ACTIVO");
lcd.setCursor (1,2);
lcd.print("CALENTADOR
INACTIVO");
}
```

// Función para el botón 2, se activará el bombeo y el calentamiento permanecerá inactivo, no se detendrá el bombeo, aunque la temperatura del agua este en cualquier rango.

```

void boton_3() {
digitalWrite (Calentar, HIGH);
digitalWrite (Bomba, LOW);
lcd.clear ();
lcd.setCursor (1,0);
lcd.print ("BOMBEO INACTIVO");
lcd.setCursor (1,2);
lcd.print ("CALENTADOR ACTIVO");
}

void boton_4() {
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,0);
lcd.print ("EL LIMITE SERA DE: ");
limiteSuperior = 40;
lcd.setCursor(6,2);
lcd.print(limiteSuperior);
delay (1000);
}

void boton_5() {
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,0);
lcd.print ("EL LIMITE SERA DE: ");
limiteSuperior = 50;
lcd.setCursor(6,2);
lcd.print(limiteSuperior);
delay (1000);
}

void boton_6() {
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,0);
lcd.print ("EL LIMITE SERA DE: ");
limiteSuperior = 60;
lcd.setCursor(6,2);
lcd.print(limiteSuperior);
delay (1000);
}

void boton_A () {
lcd.clear();
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("Aumentando");
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print("La temperatura");
lcd.setCursor(5,2);
lcd.print(" Del Agua ");
limiteSuperior = limiteSuperior +10; lcd.setCursor(4,3);
lcd.print(limiteSuperior);
delay(1000);
}

void boton_B(){
lcd.clear();
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("Aumentando");
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print("La temperatura");
lcd.setCursor(5,2);
lcd.print(" Del Agua ");
limiteSuperior = limiteSuperior-10;
lcd.setCursor(4,3);
lcd.print(limiteSuperior);
delay(1000);
}

```

// Función para el botón 3, se activará el calentador y el bombeo permanecerá inactivo. Si se alcanzan los 100 grados Celsius se apagará el calentador automáticamente

// Función para el botón 4, servirá para ajustar el límite superior, siendo el valor asignado igual a 40 grados Celsius como límite superior, este valor será mostrado en la pantalla para que el operador lo conozca

// Función para el botón 5, servirá para ajustar el límite superior, siendo el valor asignado igual a 50 grados Celsius como límite superior, este valor será mostrado en la pantalla para que el operador lo conozca.

// Función para el botón 6, servirá para ajustar el límite superior, siendo el valor asignado igual a 60 grados Celsius como límite superior, este valor será mostrado en la pantalla para que el operador lo conozca.

// Función para el botón A. sirve para aumentar el límite superior gradualmente de 10 grados Celsius, en 10 grados Celsius, la temperatura se irá actualizando y mostrando en la pantalla para que el usuario la conozca lo más rápidamente posible.

// Función para el botón V. sirve para disminuir el límite superior gradualmente de 10 grados Celsius, en 10 grados Celsius, la temperatura se irá actualizando y mostrando en la pantalla para que el usuario la conozca lo más rápidamente posible.

```
void boton_D () {
AUT=1;
digitalWrite(Calentar,LOW);
digitalWrite(Bomba,LOW);
lcd.clear();
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print("BOMBEO INACTIVO");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("CALENTADOR INACTIVO");
}
```

// Función para el botón D, esta función se describe como el paro de emergencia, una vez que este botón sea presionado se asegurará que las cargas principales no tengan alimentación eléctrica, permitiendo así que el usuario pueda reaccionar rápidamente.

```
void temperaturas(){
sensorDS18B20.requestTemperatures();
float tempActual =
sensorDS18B20.getTempCByIndex(0); lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("TEMP EXT 1: ");
lcd.setCursor(14,0);
lcd.print(thermocouple1.readCelsius());
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("TEMP EXT 2: ");
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print(thermocouple2.readCelsius());
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("TEMP AGUA : ");
lcd.setCursor(14,2);
lcd.print(tempActual);
}
```

// Función para la comunicación con los sensores de temperatura, se tomarán las mediciones de la termocupla número 1, siendo etiquetada TEMP EXT1, de la termocupla número 2, siendo etiquetada TEMP EXT2 y del sensor sumergible etiquetada como TEMP AGUA.

Se enlistarán cada una de estas mediciones y se mostrarán en la pantalla para que el operador las pueda identificar fácilmente.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE CARCASA EN IMPRESIÓN 3D

En el capítulo tres se desarrolló el código de programación para el instrumento electrónico que controla el flujo del refrigerante, la lectura de la temperatura por medio del sensor termopar tipo J y presenta una pantalla de cristal líquido para mostrar las variables de control e interactuar con la tarjeta desarrollada Shield, estas son placas de circuitos modulares que se montan unas encima de otras para dar funcionalidad extra a un Arduino, acoplado a la tarjeta de desarrollo. Ahora se desarrollará una carcasa en impresión 3D para permitir que el operador pueda manipular al sistema electrónico con seguridad. Se usará un software de diseño asistido por computadora (por sus siglas en inglés *computer aided design CAD*) para obtener el modelo en 3D y llevar a cabo su impresión utilizando un filamento *PLA* con un diámetro de 1.75 mm para la carcasa obteniendo un producto final.

4.1 SOFTWARE DE DISEÑO

Para muchos sectores de la industria nacional, como la ingeniería, la arquitectura, la medicina, la educación y en el diseño industrial por mencionar algunas áreas, donde se realizan diseños de alta complejidad se hace indispensable el uso de programas de diseño asistido por computadora para llevar a cabo el modelado en 3D, con el fin de poder montar proyectos específicos, de modelados, piezas mecánicas, férulas, carcasas, etc. Dentro de los softwares de ingeniería mecánica 3D disponibles en el mercado tenemos un extenso catálogo de ellos como *Auto CAD*, *Autodesk*, *SolidWorks*, *CATIA V5*, etc. Inicialmente estos programas fueron desarrollados para servir en la industria aeronáutica, dando un gran paso en el manejo de superficies complejas. También es ampliamente usado en la industria automotriz para el diseño y desarrollo de componentes de carrocerías; dicho programa es usado por empresas como grupo *VW*, *BMW*, *Renault*, *Peugeot*, *Chrysler* y *Porsche*.

4.2 SOFTWARE DE IMPRESIÓN 3D

Para poder usar estos softwares de impresión 3D se debe utilizar archivos 3D con la extensión *.STL*. El formato de los archivos *.STL* (siglas provenientes del inglés *Standard Triangle Language*). Hoy en día casi todos los servicios online de impresión bajo demanda aceptan otros formatos más flexibles, como pueden ser *.PLY*, *OBJ* o *.Wrml 2.0*. Estos formatos de archivos informáticos de diseño asistido por computadora (*CAD*) que define la geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos *CAD*. Es el formato estándar para las tecnologías de fabricación aditiva como la impresión 3D. Utiliza una malla de triángulos cerrada para definir la forma de un objeto. Cuanto más pequeños son estos triángulos, mayor será la resolución del fichero final; el tamaño de los triángulos es directamente proporcional con el peso del fichero, por lo que es aconsejable llegar a una solución de compromiso entre la resolución y el peso del fichero. A partir de este momento el enfoque para el programa empleado con extensión *.STL* y poder llevar a cabo la impresión 3D se utilizará un programa de código libre llamado Repitier Host. Nos permite generar un archivo.gcode que la impresora pueda interpretar a partir de uno o varios modelos 3D en formato *.STL*. Este software es compatible con la mayoría de firmwares de impresoras 3D, permite importar objetos, distribuirlos en la plataforma de impresión y configurar todos los parámetros necesarios: temperatura, velocidad, patrón y cantidad de relleno, altura de capa, etc. tarea que realiza gracias a la integración de *Slic3r* y *Skeinforge*. También vamos a poder controlar nuestra impresora vía *USB*: ejes, ventiladores, temperatura, ventilación, filamentos usados. Para poder entender un poco más a las impresoras 3D tenemos que definir su lenguaje de uso que es el *G-code* o usualmente llamado lenguaje *G-code* es el usado para el control de máquinas de control numérico, es decir, máquinas automatizadas que realizan sus tareas guiadas por ordenador. En esta categoría de máquinas entran los tornos, las fresadoras, cortadoras e impresoras 3D entre otras. El *G-code* está compuesto por instrucciones que indican a la máquina a que posición moverse, a cuanta velocidad, en qué momento utilizar una herramienta (corte, laser, extrusor). Hay varias implementaciones del lenguaje, pero en todas ellas los comandos y órdenes son similares, no obstante, será necesario conocer la versión adecuada de *G-code* que interpreta nuestra máquina a la hora de generar los ficheros.

4.3 IMPRESORA USADA Y MATERIAL EMPLEADO

Las principales especificaciones de impresión cubren a el equipo y variables más importantes y son las siguientes:

- Tecnología de impresión: Fabricación de Filamento Fundido (FFF).
- Volumen de construcción: 200x200x180mm.
- Resolución de capa: 0.1-0.3mm.
- Precisión de posición: 0.1-0.3mm.
- Diámetro de filamento: 1.75mm, 3mm.
- Diámetro de boquilla: 0.3mm, 0.35mm, 0.4mm ,0.5mm.
- Extrusores: 2.
- Tipo de filamento: *ABS/PLA/Wood-Polymer/Nylon/Flexible PLA*.

Dentro de las características de Software se incluyen a los softwares que requerirá la PC para controlar a la impresora y tener una comunicación efectiva.

- Sistema operativo: Windows/MAC/Linux.
- Software de control: Easy Print, Repitier Host, Printron.
- Formato de Archivo: *.STL , G-code*.

La temperatura es una variable muy importante durante el periodo de tiempo que se encuentre en funcionamiento y las zonas de interés serán el extrusor y la cama donde se realiza la impresión 3D y el filamento puede solidificar para tomar su forma permanente, para el filamento empleado en el proyecto la temperatura de la cama se regulo a 75°C y la temperatura del extrusor se regulo a 230°C, para no tener ningún problema al momento de imprimir el modelo 3D se utilizó un Spray de líquido adherible que se rocía sobre la cama de impresión para facilitar la adhesión del filamento al momento de salir por el extrusor.

- Máxima temperatura de cama: aprox. 110°C.
- Máxima temperatura de extrusor: aprox. 240°C.

Los requerimientos para la fuente de alimentación eléctrica serán para una toma de corriente común y tendrá diferentes niveles de voltaje para operar en su lógica interna.

-
- Entrada: 127V/2.2A o 230V/1.1A.
 - Salida: 12V/20A.

Las características de la estructura mecánica y motores se muestran a continuación:

- Cuerpo: Placa acrílica de 8 mm de espesor (negro / transparente).
- Plataforma de construcción: vidrio de borosilicato + termoflecha *MK2A*.
- Varillas *XYZ*: acero inoxidable resistente al desgaste.
- Motores paso a paso: ángulo de paso de $1,8^\circ$ con 1/16 microescalas.

Los materiales que se utilizan en la impresión *3D* determinan en gran medida las diferentes aplicaciones y características que esta tecnología puede ofrecer. El *PLA* o ácido poliláctico es uno de los materiales más usados en el mundo de la impresión *3D* gracias a popularización de las impresoras de escritorio con tecnología de extrusión *FDM*. El ácido poliláctico es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Se fabrica a partir de recursos renovables al 100%, como son el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este termoplástico tiene muchas características equivalentes, e incluso mejores, que muchos de los plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz para una gran variedad de usos. En cuanto a aspectos físicos, químicos y mecánicos, la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad del *PLA* es también comparable al del polietileno. Sin embargo, es más hidrofílico que el polietileno, ya que tiene una densidad más baja.

- Densidad: 1,25 g/cm
- Módulo de elasticidad (Young): 3.5 *GPa*
- Elongación a la rotura: 6%
- Módulo de flexión: 4 *GPa*
- Resistencia a la flexión: 80 *MPa*
- Temperatura de transición vítrea: 60°C
- Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa): 65°C
- Comienzo de fusión: 160°C
- Módulo de corte: 2,4 *GPa*
- Capacidad calorífica específica: 1800 *J/kg-K*

- Relación fuerza-peso: 40 kN-m/kg
- Resistencia a la tracción (UTS): 50 MPa
- Conductividad térmica: $0,13 \text{ W/m-K}$

4.4 DISEÑO DEL CONTENEDOR Y PRODUCTO FINAL

En las secciones anteriores de este capítulo hemos descrito las variables que influyeron en el diseño de nuestro contenedor final, es necesario recalcar que para hacer un diseño de este tipo se requiere conocer las dimensiones exactas de cada uno de los componentes así como tener en mente una visión total de cómo serán colocados estos componentes dentro del contenedor para permitir crear la mejor disposición (acomodo) de cada placa y cada componente periférico. En la Figura 66 se puede observar el diseño final de cada una de las placas con los componentes montados, permitiendo así que el lector pueda tener una idea de cómo se ve el interior y como se distribuyen los componentes dentro

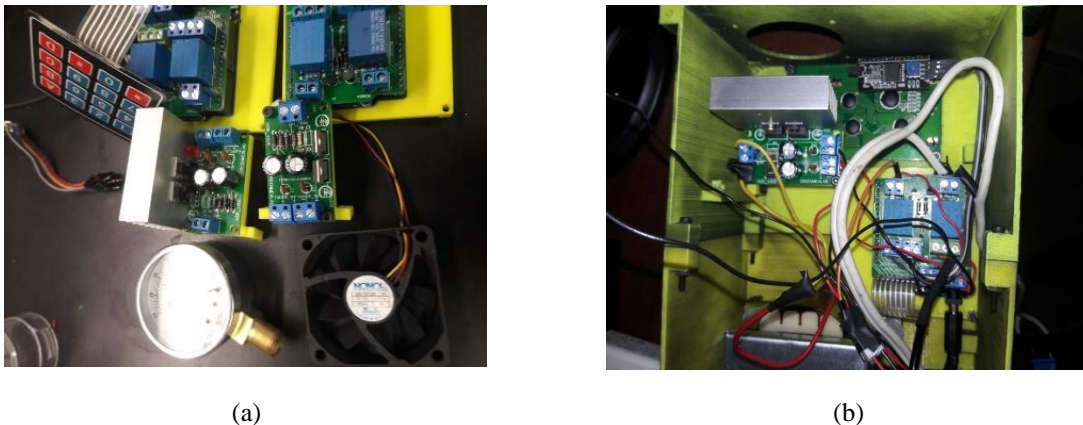


Figura 66. Tarjetas de circuito impreso (a) Tarjetas con componentes montados (b) Interior de la carcasa 3D y disposición de los componentes.

Este diseño se fundamentó en conservar el mínimo tamaño posible para poder mantener a todos los componentes seguros para su funcionamiento, el case se ha diseñado de manera que permitiera tener las salidas para las conexiones de los periféricos con el microcontrolador de la tarjeta de desarrollo, si no se prevé en el diseño del case donde se colocara cada periférico se puede presentar el problema para la manipulación en caso de que se requiera dar mantenimiento al equipo electrónico. Se debe considerar que en el interior de la carcasa están

colocados el conjunto de componentes que irradian calor, en su interior se elevará la temperatura y esto puede provocar un mal funcionamiento dentro del sistema por lo que se coloca un ventilador como extractor de aire caliente que ayuda a regular la temperatura interna del sistema llegando a una estabilidad, es decir que ya no variara con el tiempo después de haber estado en funcionamiento durante algún tiempo (Ogata, 2010). En la Figura 67b se puede observar al sistema operando con el bombeo activo y mostrando la medición de la temperatura del refrigerante que se hace fluir por el condensador para favorecer las condiciones que benefician para lograr un producto de calidad.



(a)



(b)

Figura 67. Impresión 3D de la carcasa (a) Encendido del dispositivo (b). Pantalla LC con bombeo

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

En el Capítulo Cuatro se desarrolló una carcasa de impresión *3D* con el filamento *PLA* de *1.75 mm*, esta carcasa permitirá montar la tarjeta de desarrollo y a la shield la que se nombró tarjeta de control, así como la tarjeta de fuente de alimentación, además de diferentes dispositivos periféricos, ahora en este Capítulo se describirá la metodología para la obtención de un producto final, se decidió emplear al sistema de destilación junto con el diseño electrónico para obtener aceites esenciales de algunas plantas medicinales, en nuestro caso no haremos alusión a la recolección de las plantas medicinales en su lugar de origen sino que permitimos el medio de obtención por comercialización siendo nuestro proveedor algún vendedor de una tienda naturista, mercado, etc., donde se pueda hallar la planta medicinal que más nos interese, por tener un amplio uso en el campo de la aromaterapia y en la industria alimentaria seleccionamos respectivamente a la canela como un ejemplar para su estudio al igual que la aceituna, aunque podría elegirse cualquier otra planta para proceder a realizar su extracción, separación o purificación por algún medio mecánico, físico o químico.

Una vez que se ha obtenido la materia prima se procederá a reducir el tamaño de las muestras recolectadas, a continuación se empleará la técnica de extracción, para poder realizar la filtración del material que ha sufrido la extracción para separar a las partículas sólidas del líquido, para finalizar empleando la técnica de destilación para remover a él solvente del líquido madre y obtener a el aceite esencial, en la conjunto de pasos se pueden incluir algunos más como se puede observar en la Figura 68, esto dependerá del uso que se pretenda dar a este producto, en este caso al finalizar se dará una breve explicación del método de almacenamiento para prolongar la vida útil de estos compuestos extraídos.

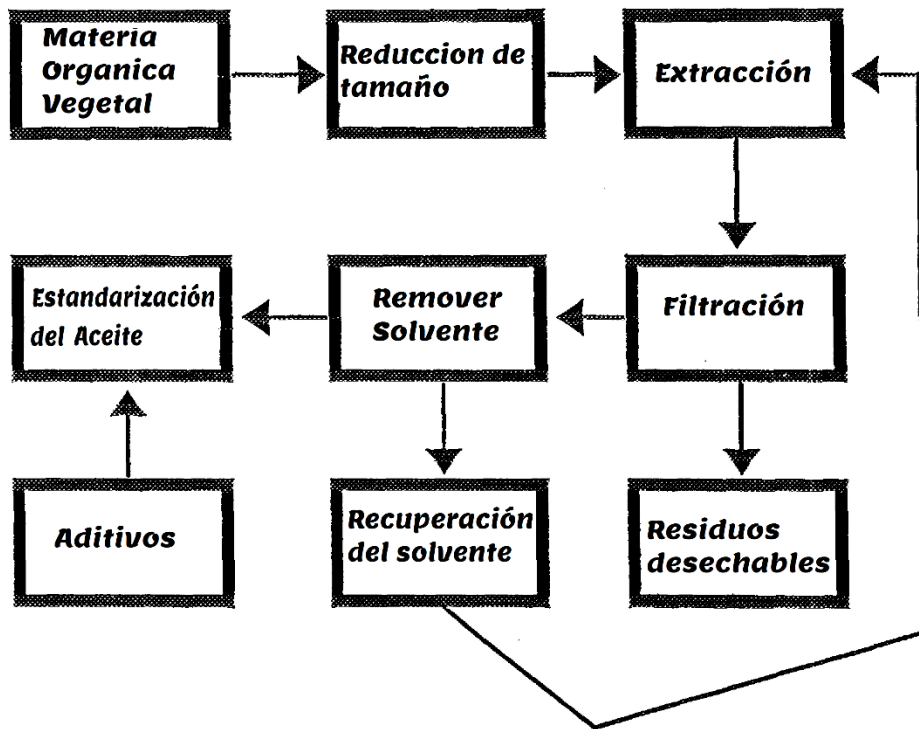


Figura 68. Diagrama de flujo para la extracción de un aceite esencial (United Nations Industrial Development Organization, 1995)

Es común que este tipo de procedimientos sean empleados para el mismo fin que el que se seleccionó en el texto y es por esto que en la Figura 69 se pueden observar a los componentes principales de algunos aceites esenciales que son de interés actualmente por sus propiedades y por los productos que se fabrican con ellos, se presentan sus propiedades físicas y su aplicación biológica en el ser humano.


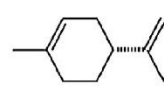
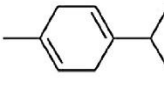
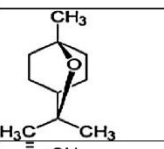
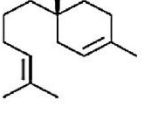
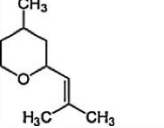
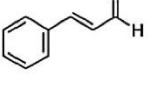
EO components	Molecular structure	Chemical Formula	Molecular Weight	Boiling point C°	Refractive index (20 C°)	Plant source	Some biological application	References
Ketones alcohols Camphor		C ₁₀ H ₁₆ O	152.23	204	-	Lavendula stoechas	Antispasmodic, sedative, diuretic antirheumatic, anti- inflammatory, anti-anxiety	(Braden <i>et al.</i> , 2009)
Monoterpenes D-Limonène		C ₁₀ H ₁₆	136.23	175.4	1.473	Citrus limon	Antifungal, Antioxidant	(Singh <i>et al.</i> , 2010)
g-Terpinène		C ₁₀ H ₁₆	136.23	183	1.474	Origanum vulgare	Antioxidant	(Ruben Olmedo, 2014)
Terpenic oxides 1,8-Cineole		C ₁₀ H ₁₈ O	154.25	176	1.457	Eucalyptus poly bractea	Antiinflammatory activity (asthma)	(Juergens <i>et al.</i> , 2003)
Oxygenated sesquiterpenes alpha-Bisabolol		C ₁₅ H ₂₆ O	222.37	153	1.496	Matricaria recutita	Anti-irritant, anti inflammatory, antimicrobial	(Joseph M. Mwaniki <i>et al.</i> , 2015)
Terpenic oxides Cis-Rose oxide		C ₁₀ H ₁₈ O	154.25	70–71	1.454	Rosa damascena	Antiinflammator y, Relaxant	(Nonato <i>et al.</i> , 2012; Boskabad y <i>et al.</i> , 2006)
Cinnamaldehyde		C ₉ H ₈ O	132.16	248– 250	1.621	Cinnamom um, Zeylanicum	Bactericide, fungicide, insecticide	(Ye <i>et al.</i> , 2013)

Figura 69. Propiedades físicas y aplicaciones biológicas de algunos compuestos de aceites esenciales
(Rassem, Nour, & Yunus, 2016)

Se omitirá ser muy específico en el proceso de preparación detallado de estas plantas medicinales para dar una exposición generalizada y así permitir que este procedimiento pueda ser replicado con otros especímenes, permitiendo aumentar la diversidad de plantas que ya es explotada actualmente. Ya que se ha obtenido la planta medicinal procurando que haya sido recolectada o cultivada en el momento en el que las hojas o los frutos muestran su coloración más intensa, (*debido a que este es el momento en el que los niveles de nutrientes se encuentran en su punto más alto*) se dispondrán las secciones colectadas en forma que se permita el flujo continuo de aire y debe de asegurarse que el material vegetal no se expondrá al contacto directo con la luz del sol. Cuando las secciones colectadas se encuentren secas lo

que es posible en un lapso de una a dos semanas en la mayoría de los casos, se procede a la reducción del tamaño de las partes, hasta reducirlo a partículas diminutas como el polvo cuando es posible, esto se puede lograr a través de diferentes dispositivos que deberán ser seleccionados dependiendo de la sección de la planta que se desea procesar por ejemplo se puede diferenciar entre las semillas, las flores y hojas, la corteza y las raíces, esta clasificación nos podría indicar el mejor instrumento para llevar a cabo la reducción necesaria de tamaño para permitir que se optimice el contacto entre el solvente y el soluto para poder transferir más materia de la fase sólida a la líquida en el menor tiempo posible, estas máquinas pueden ser un molino, una trituradora, un mortero y su pistilo.



Figura 70. Mortero de cerámica, para reducir un sólido a partículas más pequeñas

Sin importar mucho porque medio se logre la reducción del tamaño de las partículas aunque siempre considerando no ser una fuente de impurezas o de toxicidad en nuestro diseño experimental de escala de laboratorio, se realizará la extracción en un medio continuo o en forma directa, esto es a través del calentamiento de un matraz bola con el soluto (materia orgánica seleccionada) y un solvente que permita transportar las moléculas que constituyen a los aceites esenciales, compuestos colorantes, aromáticos y saborizantes, cómo se expuso con anterioridad se usará para el arreglo experimental como solvente a el agua y al alcohol etílico, en la Figura 71 mostramos un diagrama para hacer la extracción de frutos secos de *capsicum* spp. Ejemplificando una elección hipotética.

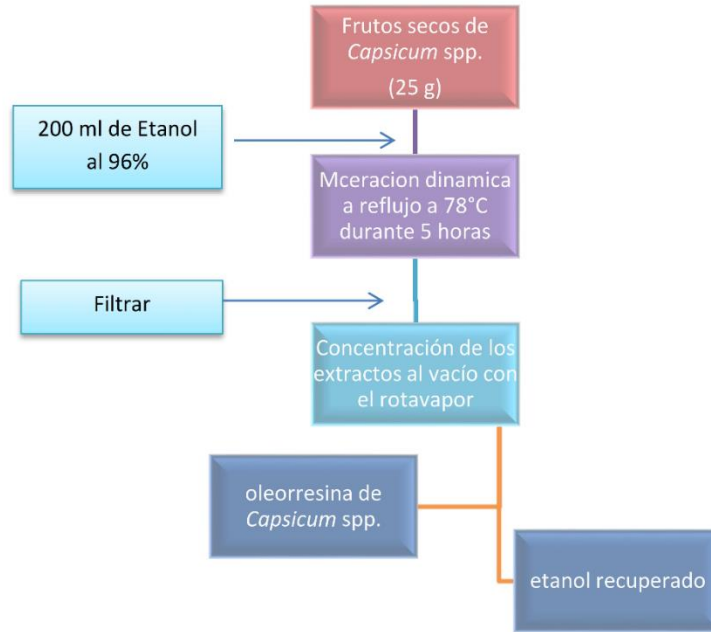


Figura 71. *Proceso simplificado para la extracción de aceites esenciales*

El procedimiento puede sufrir ciertas variaciones para tener un buen rendimiento, influye el tiempo al que la sustancia es sometida a esta condensación y evaporación continua por más de 24 horas en algunos casos.,

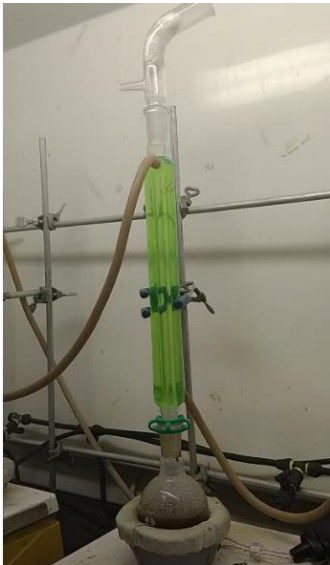


Figura 72. *Proceso de extracción por reflujo continuo*

Después de esto se procede a dejar de calentar el compuesto, en el intervalo de tiempo en el que mantenemos al matraz bola sin calentamiento, se dispondrá a realizar el acoplamiento y arreglo para realizar la filtración en vacío de la solución obtenida que se puede llamar líquido madre o crudo. El arreglo para la filtración en vacío consiste en colocar una matraz Kitasato debajo de un embudo Buchner, este embudo puede tener una fina capa de neopreno como agente de incremento en el efecto de vacío aunque cualquier plástico de alta densidad puede servir, esto es para asegurar que haya un buen contacto entre ambas superficies y no se presenten fugas, estos dos aparatos deberán de ser conectados a una bomba de vacío por la conexión especialmente dedicada para ello en el matraz Kitasato, una vez que la mezcla del líquido madre se encuentra a una temperatura capaz de ser soportada para su transporte y manejo seguro por el operador se procede a hacer pasar el líquido madre, el embudo Buchner debe de contar con una capa de papel filtro para hacer eficaz la separación, este filtro deberá de ser reemplazado las veces que sean necesarias para no acarrear con impurezas desde un principio, es preferente que el líquido se encuentre a buena temperatura y que el cuello del matraz haya sido calentado para permitir que el líquido fluya con rapidez, una vez que este procedimiento haya sido repetido las veces necesarias para haber filtrado a él volumen total del líquido madre y ahora tenerlo sin impurezas sólidas, el líquido deberá de ser sometido a el proceso de destilación.

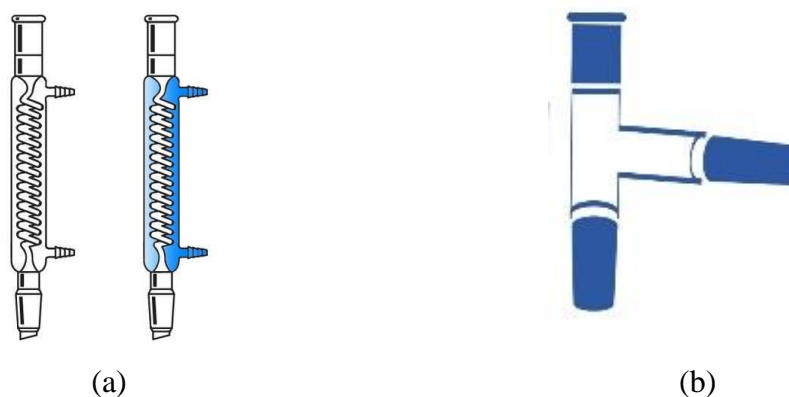


Figura 73. a) Condensador tipo Graham. (CTechGlass, 2019). b) Adaptador para destilación de tres vías (CTechGlass, 2019)

En esta técnica se pueden presentar un sinnúmero de dificultades al momento de ser realizado y solo podrá ser efectuado con seguridad siguiendo todos los pasos mencionados a continuación, teniendo en cuenta que se está trabajando con mezclas capaces de incendiarse

y que la mezcla líquida pudiere ser derramada sobre el circuito electrónico, estos procedimientos requieren de ser llevados a cabo en una zona controlada, se debe recordar que un accidente puede provocar graves alteraciones en la salud, una vez que se han dado estas advertencias, se procede a la descripción de la técnica de destilación.

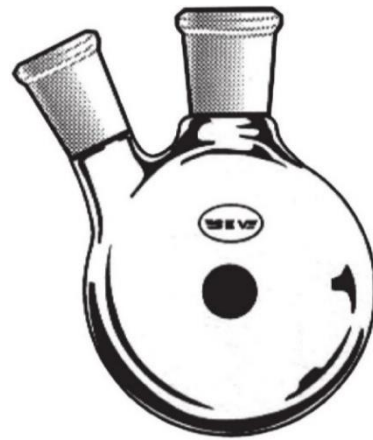


Figura 74. a) Columna para destilación Vigreux (SEV-PRENDÓ - Equipo y vidrio científico, 2019). b) Adaptador para termómetro (CTechGlass, 2019).

Cuando se cuenta con el líquido madre filtrado se debe considerar el equipo electrónico y aparatos de cristal que vamos a utilizar en el siguiente paso, en el arreglo experimental se sigue el acomodo de un destilador simple, estos aparatos de cristal se muestran en la Figura 73, Figura 74, Figura 75 y Figura 76 estos artefactos de cristal serían los más adecuados para el objetivo de obtener aceites esenciales de materia orgánica vegetal implementando un sistema electrónico de medición y control adaptable a los procesos de destilación que permita obtener un proceso de mayor eficiencia y con esto reducir el consumo de energía eléctrica, aunque pueden sufrir variaciones en el arreglo sin sufrir grandes contratiempos, sólo como una observación se hará mención en que las juntas o uniones (joints) entre los artefactos de cristal deben de ser 24/40 para permitir que el equipo pueda ser ajustado con facilidad a los distintos artefactos, el no seguir esta recomendación puede ser una fuente de frustraciones al momento de llevar a cabo esta técnica.

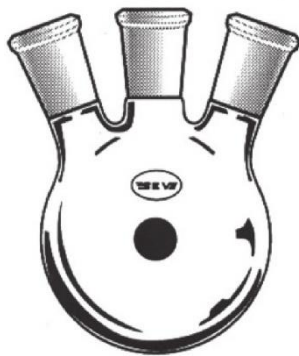


(a)



(b)

Figura 75. a) Adaptador de recolección (Sevmexico, 2019) b) Matraz de fondo redondo de 2 cuellos (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019)



(a)



(b)

Figura 76. a) Matraz de fondo redondo de 3 cuellos (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019) b) Embudo de adición (SEV-PREND0 - Equipo y vidrio científico, 2019)

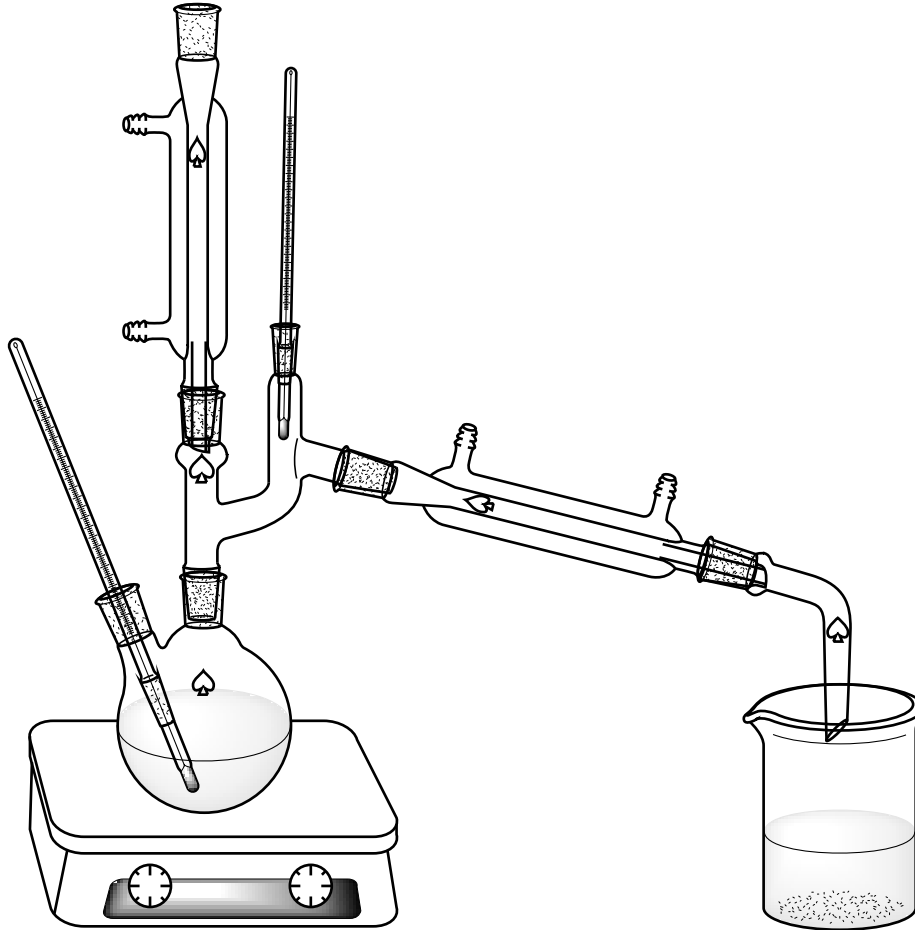


Figura 77. Arreglo experimental del proceso de destilación armado en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Centro Tecnológico Aragón.

En la Figura 77 se muestra un arreglo para destilar aceites esenciales, aunque en el procedimiento se le hicieron algunas variaciones, esto es debido a la practicidad que el sistema ofrece además de permitir que los dispositivos periféricos conectados al sistema puedan ser colocados de una manera adecuada y con seguridad para el operador. Como se puede observar en la siguiente página, el arreglo experimental cuenta con el diseño específico para colocar a el equipo en una zona cercana a los aparatos de cristal para permitir un fácil acceso visual para el operador y la pantalla *LCD*.

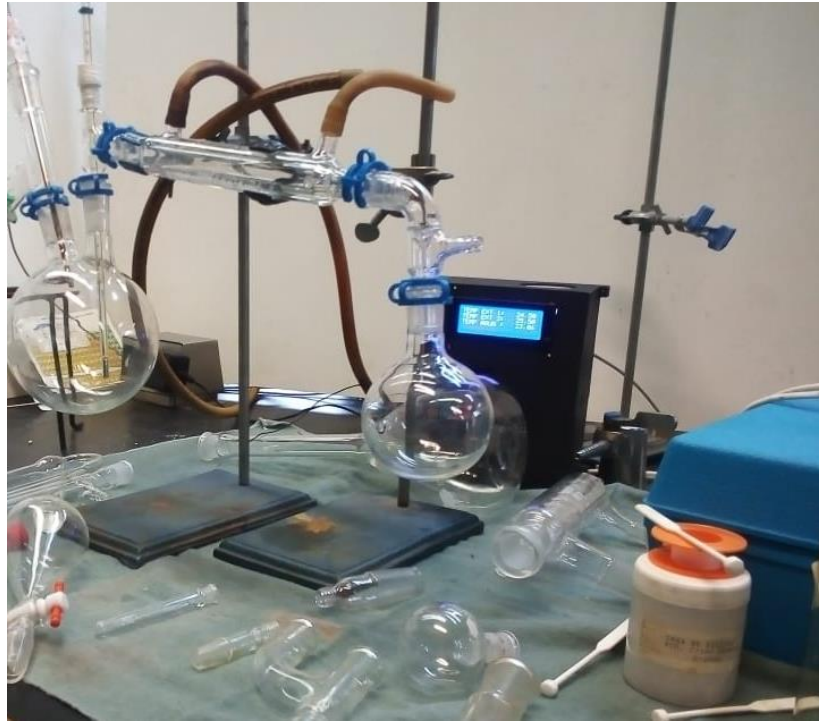


Figura 78. Arreglo experimental empleado para la extracción de aceite esencial.

Una vez que se ha montado todo el equipo se procederá a hacer un calentamiento gradual con la matilla eléctrica hasta llegar al punto de ebullición del líquido madre, el volumen máximo permitido será del 50% de la capacidad del matraz bola que sea empleado en el arreglo, se sugiere usarse una mantilla con giro magnético además de haber introducido piedras de ebullición para eliminar el caos dentro del hervidero, este proceso puede requerir de un largo tiempo de aproximadamente 2-4 horas para asegurar que será un calentamiento gradual para no afectar a los componentes térmicamente sensibles, además de asegurar no suministrar demasiada energía que pudiera acelerar el proceso pero también comprometer a los componentes más sensibles.

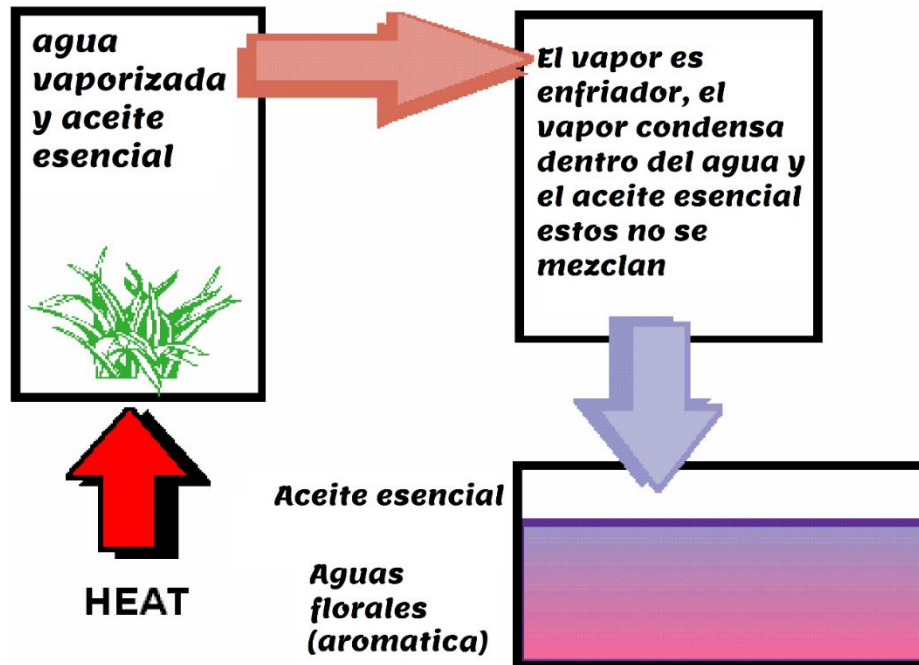


Figura 79. Diagrama de flujo simplificado para la obtención de aceites esenciales.

Para tener mayor seguridad se sugiere usar una camisa de enchaquetado para el sensor de temperatura debido a que el no seguir esta sugerencia puede acarrear dificultades técnicas, por ejemplo, un tapón que no ajuste adecuadamente permitirá la fuga del vapor enriquecido. Cuando el flujo de vapor aumenta lo suficiente se comenzarán a producir goteos por la pared interna del matraz bola que seguirán produciéndose debido a la condensación del vapor en la sección de contacto directo con el condensador y que no alcanzan a fluir hacia el final del condensador y regresan hacia el hervidero, el condensador que está circulando como refrigerante agua a bajas temperaturas de aproximadamente $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 10°C esto se logra agregando bolsas de hielo al almacén del agua para su bombeo, cuando estas gotas se deslizan por la pared interna obstruyen la vista y con el transcurso del tiempo se producirá un empañamiento del cristal donde se está efectuando la evaporación, aquí es donde se puede apreciar la ventaja que introduce un sensor digital para la temperatura con respecto al típicamente usado termómetro de mercurio.

El operador se encuentra frente al sistema completo dirigiendo el proceso de destilación y requiere de conocer la temperatura del líquido que se encuentra en calentamiento dentro del matraz bola, para lograrlo emplea un termómetro de mercurio que presenta esta información en el cuerpo del mismo objeto es decir el recipiente que almacena a la columna de mercurio.

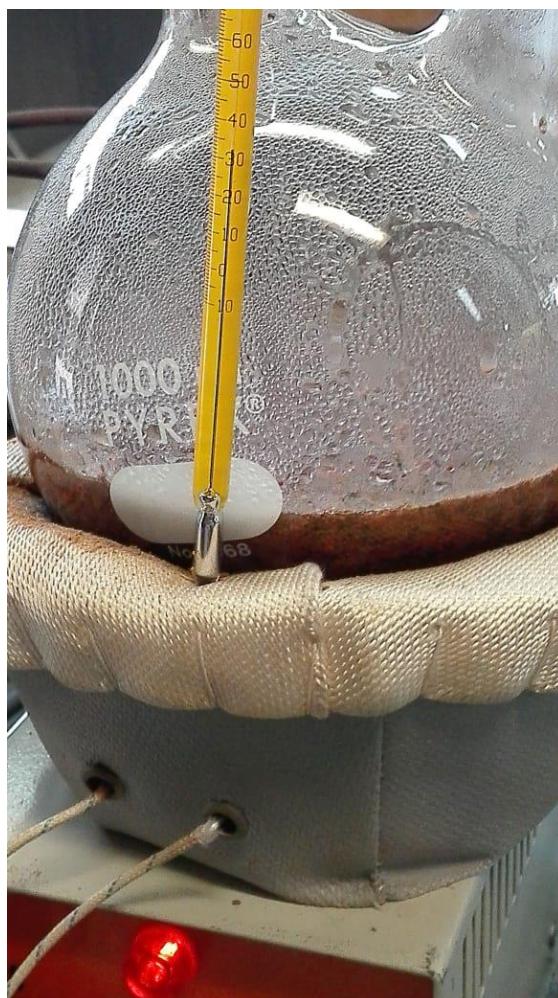


Figura 80. Termómetro de mercurio frente al calderín .

La luz que permite que nuestro sentido de la vista que es adquirido por los ojos y procesado por el cerebro sigue su trayectoria desde el punto donde emana como un foco incandescente hacia la pared del cristal, pasa a través del aire hasta donde está el cristal que forma al matraz bola(calderín) atraviesa el cristal y llega a una fase formada por los gases del líquido, atraviesa una segunda frontera de cristal y alcanza a la columna de mercurio de ahí sigue la trayectoria en sentido contrario hasta alcanzar el ojo, es debido a esto que es difícil para el

operador saber con exactitud que temperatura es la que se muestra en el termómetro, sin mencionar que la mezcla puede constar de gases con coloración,

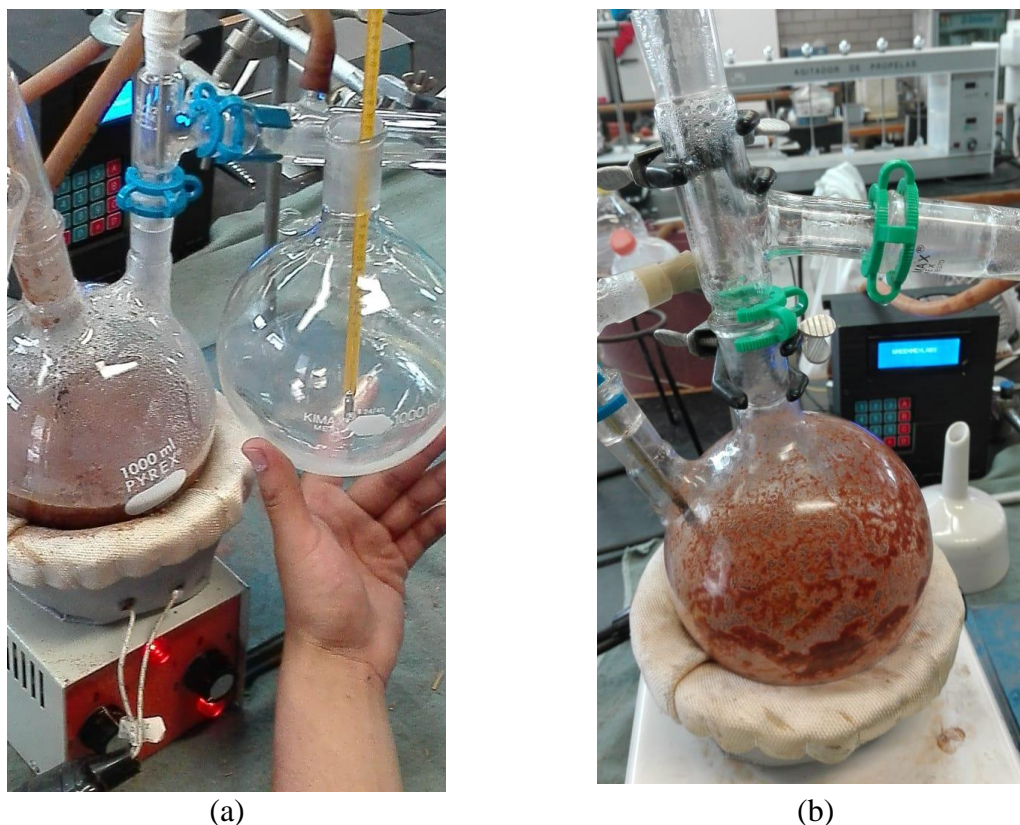


Figura 81. a) Sistema de destilacion mostrando matraz empañado. b) Sistema de destilacion mostrando matraz con las paredes internas obstaculizando la vista.

Ahora con el dispositivo sólo tendría que inclinar la cabeza para poder conocer esta propiedad (temperatura) del sistema en la pantalla LCD como se muestra en la Figura 81b, cuando el proceso ha alcanzado el punto de equilibrio se mostrará una característica del sistema y es que la temperatura de los gases y la temperatura del líquido es la misma, esto se mencionó en el Capítulo II, y es aquí cuando los gases a altas temperaturas comenzaran a vencer la resistencia térmica aparente debida al condensador para comenzar a fluir a través de él, pero debido a el flujo continuo de agua helada en sentido contrario se produce una diferencia de temperaturas provocando que el fluido caliente seda su temperatura al fluido más frio, una vez que se supera cierto punto el vapor enriquecido condensara y fluirá hacia el final del condensador siendo colectado en otro recipiente como sería un matraz bola como se puede

apreciar en la Figura 82a y Figura 82b. Este proceso continúa en un ciclo similar durante toda la separación del líquido madre.

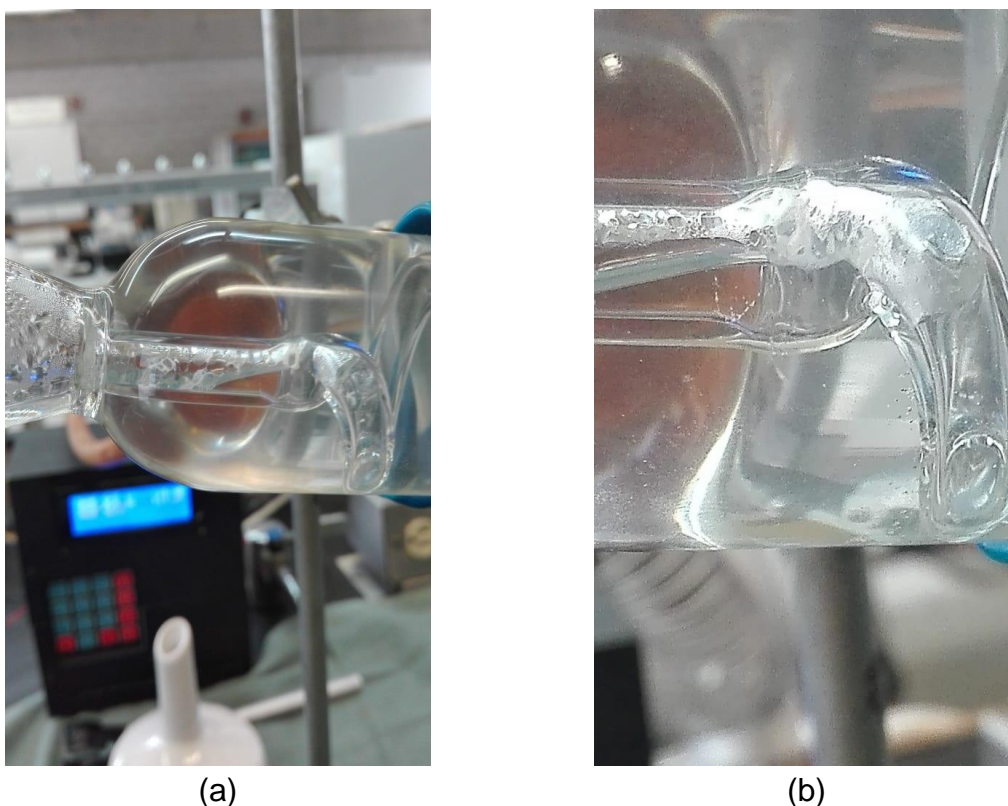


Figura 82. a) Sección principal de contacto entre en condensador y en vapor enriquecido. b) Sección del condensador tipo Graham condensando vapor.

Se hará un recuento ,se tiene un matraz con el líquido madre formado por dos compuestos el material extraído de origen vegetal y algún solvente, llamémosles A y B respectivamente, una vez que se calientan hasta lograr un cambio de la fase líquida a el estado gaseoso, este gas será en un principio mayormente formado por el componente B debido a que lo se ha elegido de forma que su punto de fusión sea bajo es decir que sea volátil, estos gases serán formados por el calentamiento continuo hasta que se alcance el llamado equilibrio liquido-vapor cuando esto sucede el líquido y el vapor se encontrarán a la misma temperatura cuando esto pase y se mantenga el calentamiento el vapor comenzara a fluir a través del condensador hasta que ceda su energía su calor en este trayecto a él refrigerante que es circulado por la pared externa del condensador, hasta que los gases condensados pasan a formar líquido, que

fluirá por el resto del condensador hasta llegar a su recipiente de recolección. Esto puede continuar hasta cierto punto, cuando el volumen desplazado del líquido madre al matraz de recolección supera un cierto rango la composición del líquido evaporado comenzara a cambiar y comenzara a haber una concentración cada vez más proporcional de los dos componentes A y B , es decir se generará en un principio vapor principalmente formado por B que se separa de A, con el pasar del tiempo empezara a evaporarse el componente A igual que B y la separación entre componentes disminuirá, estas secciones del componente se conocen como cabeza, cuerpo y cola de destilación dependiendo del volumen desplazado, estas separaciones son evidentes gracias al equipo electrónico que se ha desarrollado, y que permite conocer las variaciones de la temperatura , lo primero que sucederá es que el líquido se caliente y llegue a un punto donde dejará de variar, después permanecerá en este mismo valor durante un periodo de tiempo, entonces volverá a incrementarse la temperatura del líquido madre y permanecerá constante, este ciclo se presenta un cierto número de ocasiones hasta que se haya consumido el volumen total del líquido, aunque esto no suele ocurrir en la práctica y siempre se deja una reserva para no exponer al matraz bola sin carga, es decir sin líquido, al calentamiento durante periodos prolongados. Una vez que se alcanza el rango de 15 a 10% como volumen en estado líquido dentro del matraz bola se suspende el calentamiento permaneciendo aun el flujo de agua por el condensador para favorecer el descenso de la temperatura, así como elevar un poco el matraz bola de la superficie de contacto directo con la mantilla de calentamiento para eliminar esa fuente de calor, una vez que el sistema alcanza la temperatura ambiente por lo menos, aunque puede ser inferior, se continua con el desacoplamiento del matraz de recolección y al matraz de calentamiento, el líquido que se obtiene en el matraz de recolección estará compuesto por los componentes del solvente y algunos componentes del extracto que formaban al líquido madre mientras que en el matraz de calentamiento se ha obtenido a los componentes menos volátiles, es decir a los aceites esenciales, aromáticos, saborizantes y colorantes dependiendo de la pureza obtenida, es aquí cuando el proceso de extracción revela el por qué se han elegido solventes con características benignas para el consumo humano, al realizar la separación no se puede conocer la concentración residual del solvente dentro del líquido que ha permanecido en el matraz de calentamiento a menos que se someta a un estudio de su composición que acarrea gastos de producción y es debido a esto que desde un principio seleccionamos solventes no

tóxicos para el consumo humano permitiendo obtener los beneficios de estos compuestos sin tener que preocuparnos por los efectos secundarios que puedan producir, aunque se suele mezclar con otros aceites o ungüentos para disminuir su concentración debido a que puede irritar con su contacto directo con la piel.

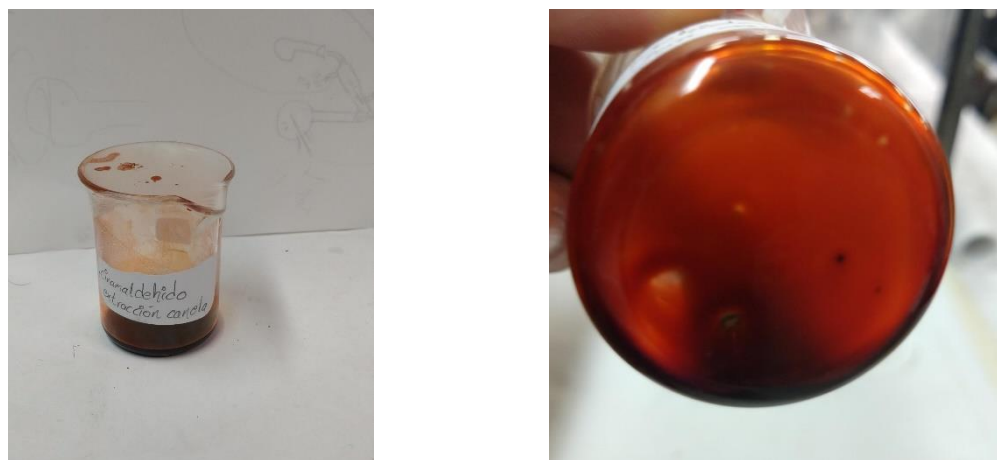


Figura 83. *Compuestos extraídos de Canela.*

Cuando se ha desacoplado a los matraces de calentamiento y de recolección, se finaliza con el proceso de almacenamiento el cual consiste en embotellar en frasco de color ámbar con tapa para disponerlos a su refrigeración en una zona sin contacto directo con el sol para evitar su degradación y conservar sus propiedades el mayor tiempo posible.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

En los capítulos anteriores se adquirió la información de los procesos de transferencia de masa, se analizó el procedimiento físico de la destilación, y desarrollo un sistema electrónico capaz de realizar tareas que disminuyan la carga laboral del operador y que permita reducir el consumo de energía. Todo lo anterior sirve de fundamento para concluir que los aceites esenciales son un producto ampliamente usado por varios sectores industriales, pero su costo de producción es elevado debido al tiempo requerido para producirlos y por lo complicado de la técnica, con este equipo se hace más simple el obtenerlos y así poder usarlos en la fabricación de una amplia variedad de productos comerciales.

El control electrónico de la medición de la temperatura permite a el operador conocer esta propiedad dentro del sistema que está dirigiendo, así se hace más simple su tarea y reduce la probabilidad de degradar los compuestos sensibles a la temperatura.

El control a través de la programación de la tarjeta de desarrollo permite dirigir el comportamiento de la bomba de agua haciendo que sólo fluya agua en los momentos necesarios y no durante todo el tiempo o requiriendo de la manipulación del operador para realizar esta tarea repetitiva con lo que se asegura un buen funcionamiento en el consumo de energía eléctrica

Consumir y suministrar la energía necesaria a través de la mantilla de calentamiento gracias al conocimiento de la temperatura dentro del sistema, esto permite reducir el consumo de potencia promedio consumida por el equipo, mientras se tiene asegurada la obtención de un producto de calidad.

El desarrollo de sistemas electrónicos que permitan la producción de químicos finos tiene una amplia producción y uso dentro de la industria química y su mejoramiento conllevara una mejora en los productos que se ofrecen a los consumidores en general

Lograr difundir los principales usos, aplicaciones y padecimientos que puede causar el uso de solventes dentro de las prácticas químicas, ya que como usualmente ocurre en la industria se utilizan productos que mejoren la eficiencia del proceso de interés en particular sin tomar en cuenta el daño ambiental o a la salud que puede provocar

El trabajo a futuro está planteado para lograr hacer mejoras al equipo existente, entre las principales características a mejorar se encuentra el realizar un dispositivo capaz de refrigerar esto es debido a que se requiere de suministrar bolsas de hielo al almacén de agua para mantener su temperatura en un estado estable.

El desarrollo de un sistema de visión artificial que permita el control remoto y disponer de una visión remota permitirá que estos procesos puedan ser llevados a cabo sin la necesidad de exponer al operador a los vapores de algunos de los solventes que se emplean actualmente en la industria.

El continuo desarrollo de más sistemas electrónicos que permitan dar un mayor control al operador de este tipo de sistemas de la industria química es una tarea de alta importancia ya que es aquí donde se producen muchas de las materias primas que dan vida a cientos de productos comerciales, estos sistemas deben de perfeccionarse para asegurar que el consumidor final no sea expuesto a residuos de solventes utilizados en la extracción de ningún compuesto, esto ayudara a prevenir las enfermedades relacionadas con la exposición de algunos solventes empleados en la industria, como el cáncer o problemas respiratorios y neuronales.

BIBLIOGRAFÍA

A. Rodriguez, J. (16 de Octubre de 2019). *Introduccion a la termodinamica con algunas aplicaciones de ingenieria*. Obtenido de cie.unam.mx/~ojs/pub/Curso%20Mabe%20Termo/Introducción%20a%20la%20Termodinamica.pdf

Alamy Ltd. (15 de Octubre de 2019). *alamy*. Obtenido de <https://www.alamy.es/cuatro-frascos-de-aceites-esenciales-de-hierbas-naturales-coloreados-en-white-cube-image219455253.html>

Arduino. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=473643.0>

AV Electronics. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://avelectronics.cc/producto/temperatura-agua-ds18b20/>

Boylestad, R. L. (2011). *Introducción al análisis de circuitos*. Pearson Educación.

Breijo, E. G. (2019). *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC*. Alfaomega.

BrotoTermic. (15 de Octubre de 2014). *Resistencias Eléctricas Calefactoras*. Obtenido de <http://www.brototermic.com/docs/catalogo-resistencias-calefactoras.pdf>

Bruzos, T., & Bruzos, D. (09 de Octubre de 2019). *Sabelotodo*. Obtenido de <http://www.sabelotodo.org/quimica/filtrado.html>

Cándido Bariáin, J. M. (2019). *Programación de microcontroladores PIC en lenguaje C*. Alfaomega.

Castillo, N., & Mendoza Pérez, J. (2019). *Manual de prácticas para el laboratorio de Química Orgánica I*. México: Facultad de Química, UNAM.

Caymans SEO. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://caymansseo.com/bomba-presurizadora-de-agua>

Chang, R. (2010). QUÍMICA. En R. Chang, *QUÍMICA* (Sexta ed., pág. 1174). México: McGRAW-HILL.

Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas*. McGraw-Hill.

Chevallier, A. (1997). Enciclopedia de Plantas Medicinales. En *Enciclopedia de Plantas Medicinales* (pág. 336). Dorling Kindersley.

Cosmotienda. (15 de Octubre de 2019). *Drogueria cosmopolita*. Obtenido de <https://www.cosmotienda.com/tienda/aceite-graso-olivo-extra-virgen-p-4327.html?fmsid=rhnaic41n2apf2hr8dp44qcnb0>

Cosmotienda. (15 de Octubre de 2019). *Drogueria Cosmopolita*. Obtenido de <https://www.cosmotienda.com/tienda/extracto-semillas-manzana-malus-p-4035.html?fmsid=rhnaic41n2apf2hr8dp44qcnb0>

Cosmotienda. (15 de Octubre de 2019). *Drogueria Cosmopolita*. Obtenido de <https://www.cosmotienda.com/tienda/almidon-maiz-1000-p-3181.html?fmsid=rhnaic41n2apf2hr8dp44qcnb0>

Crespo, E. (2018). *Blog Aprendiendo Arduino*. Recuperado el 28 de 10 de 2019, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com>

CSC Corporate Domains, I. (7 de Abril de 2000). *istockphoto*. Obtenido de <https://www.istockphoto.com/es/vector/proceso-de-reacci3n-qu3mica-en-el-laboratorio-ci3ntifico-que-consta-de-frascos-y-gm935722042-256016593>

CTechGlass. (14 de Octubre de 2019). *ctechglass laboratory glassware and supplies*. Obtenido de <https://www.ctechglass.com/ctech-250mm-glass-coiled-reflux-condenser-2440-joints-lab-glassware-p-1897.html>

Deitel, P. D. (2014). *C3mo programa en C++*. Pearson Educaci3n.

Del Rio Segovia, J. (2016). *Propuesta de la obtencio de acetato de etilo, utilizando un solo equipo para la reaccion quimica y la separacion por destilacion, a partir de acido acetico y etanol*. M3xico: Instituto Politecnico Nacional.

Ecologiaverde. (15 de Octubre de 2019). *Ecologiaverde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/como-hacer-jabones-artesanales-naturales-de-hierbas-1136.html>

ECYT-AR. (07 de 10 de 2019). Obtenido de <https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/T%c3%a9cnica>

El nogal. (15 de Octubre de 2019). *El nogal frutos secos*. Obtenido de <http://elnogal.com.uy/producto/almidon-de-maiz/>

El proceso de cristalizaci3n. (9 de Agosto de 2018). *100cia.site*. Obtenido de <https://100cia.site/index.php/quimica/item/7612-que-es-cristalizar>

ElectronicWings. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.electronicwings.com/arm7/lcd-16x2-interfacing-with-lpc2148-4-bit-mode>

electronika2. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de
http://electronika2.tripod.com/info_files/fvlinealesrc.htm

Eni Generalic. (14 de Octubre de 2019). *Chemistry glossary*. Obtenido de
https://www.periodni.com/gallery/download_image.php?name=allihn_condenser.png

Eni Generalic. (14 de Octubre de 2019). *Chemistry Glossary*. Obtenido de
https://glossary.periodni.com/download_image.php?name=liebig_condenser.png&source=Liebig+condenser

Facultad de Química UNAM. (2008). *Procesos de separación, prácticas de laboratorio*. México: UNAM.

Fairchild. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de
<https://www.mouser.com/datasheet/2/149/BC547-190204.pdf>

Feynman, R. (2007). *Seis piezas fáciles*. Booket .

Flor-M, A.-D., & Col, y. (2016). Química orgánica experimental a escala semi - micro y fundamentos de la espectroscopia. En F. d. Domínguez, *Química orgánica experimental a escala semi - micro y fundamentos de la espectroscopia* (pág. 420). Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Fundacion Wikipedia, Inc.,. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de
<https://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>

Fundacion Wikipedia, Inc.,. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de
<https://es.wikipedia.org/wiki/78xx>

Future Electronic Corporation. (22 de Octubre de 2019). Obtenido de
https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1522237550_arduino%20uno%20r3.pdf

Geankoplis, C. J. (2010). Transport Processes and Separation Process Principles. En C. J. Geankoplis, *Transport Processes and Separation Process Principles*. Prentice Hall.

Geekbot Electronics. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de
<http://www.geekbotelectronics.com/producto/modulo-i2c-para-lcd/>

GEEKFACTORY. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de
<https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/max6675-modulo-interfaz-termopar/>

GES-ELECTRONICS, a.s. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de
<https://www.ges.cz/en/7812-to3-GES05002943.html>

Giancoli, C. .. (2009). *FÍSICA 1. Principios con aplicaciones* (SEXTA ed., Vol. 1). México: PEARSON EDUCACIÓN.

Gobierno de México. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.gob.mx/cenace/videos/que-es-el-sistema-electrico-nacional?idiom=es>

Gonzalez Villa, A. A. (2004). *Obtención de aceites esenciales y extractos etanolicos de plantas del amazonas*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

GUNT HAMBURG. (09 de Octubre de 2019). *ingenieria de procesos termicos*. Obtenido de <https://www.gunt.de/es/productos/ingenieria-de-procesos/ingenieria-de-procesos-termicos/glct-1:pa-150:ca-239>

Hitachi, Ltd. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>

Iberian Coppers S.A. (14 de Octubre de 2019). *Destilarias Eua.de.Vie*. Obtenido de <https://www.copper-alembic.com/es/pagina/historia-de-la-destilacion>

Jeff Weber Rare Books. (14 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.weberrarebooks.com/product/117964/Das-New-gross-Distillier-Bch-Wolgegrundter-Kunstlicher-Distillarion---Mit-ordentlichen-vnd-vollkommenen-Registern-RYFF-Walther-Hermann>

JMIndustrial Technology S.A. de C.V. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de https://www.jmi.com.mx/catalogo_sensores/Tablas_Termopares.pdf

Kulprathipanja, S. (2002). Reactive Separation Processes. En S. Kulprathipanja, *Reactive Separation Processes*. CRC Press.

Masschelein-K, L. (2004). *Les solvants*. Dirección de Bibliotecas Archivos y Museos, Centro Nacional de Conservación y Restauración.

Mataix, C. (1993). *Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas*. Madrid: Ediciones del Castillo.

Maxim Integrated Products, Inc. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

McCabe, W. L. (1996). Operaciones unitarias en ingeniería química. En W. L. McCabe, *Operaciones unitarias en ingeniería química*. McGraw-Hill.

Microchip. (2018). AN_2525. Recuperado el 28 de 10 de 2019, de <https://www.microchip.com/wwwAppNotes/AppNotes.aspx?appnote=en592001>

Microchip Technology Inc. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21498d.pdf>

Microchip Technology Inc. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21462d.pdf>

Mileaf, H. (2014). *Electricidad, Serie 1-7*. Limusa.

Mondragón Aguilar, J. (1994). *Desarrollo y Perspectiva de la Industria Petroquímica Mexicana*. México: UNAM.

Morales Vite, X. (2013). *Los disolventes en la química verde*. México: Instituto Politécnico Nacional.

Murov, S. L. (11 de Noviembre de 2018). *Properties of Solvents Used in Organic Chemistry*. Obtenido de <http://murov.info/orgsolvents.htm>

Nashelsky, R. L. (2015). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. Pearson Educación.

Noriega Rivera, P. (2009). Extracción, químico, actividad biológica, control de calidad y potencial económico de los aceites esenciales. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 3-15.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación.

OPERADOR PETROLERO. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de

<http://operadorpetrolero.blogspot.com/2014/12/tipos-de-bombas-en-operaciones.html>

PCE Deutschland. (14 de Octubre de 2019). *PCE Iberica S.L. Instrumentación*. Obtenido de https://www.pce-instruments.com/espanol/laboratorio/instrumento-de-laboratorio/centr_fuga-kat_151565_1-pce+cfe+200.htm

PCE Deutschland GmbH. (s.f.). *PCE-INSTRUMENTS.COM*. Obtenido de PCE-

INSTRUMENTS.COM: [https://www.pce-](https://www.pce-instruments.com/espanol/laboratorio/instrumento-de-laboratorio/manto-calefactor-pce-instruments-manto-calefactor-pce-hm-5000-det_360971.htm)

[instruments.com/espanol/laboratorio/instrumento-de-laboratorio/manto-calefactor-pce-](https://www.pce-instruments.com/espanol/laboratorio/instrumento-de-laboratorio/manto-calefactor-pce-instruments-manto-calefactor-pce-hm-5000-det_360971.htm)

Perry, R. H. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. En R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill.

Pinterest. (14 de Octubre de 2019). Obtenido de

<https://www.pinterest.com.mx/pin/327496204149708803/?nic=1>

Proyecto Fittema. (14 de Febrero de 2019). *Disolventes*. Obtenido de

http://istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3085.pdf

Química orgánica : experimentos con un enfoque ecológico. (2009). José Gustavo Avila Zárrega. En Q. o. ecológico, *José Gustavo Avila Zárrega*. UNAM, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial.

Rajput, R. K. (2011). *Ingeniería Termodinámica*. México: Cengage Learning.

Ramirez, E. (14 de Octubre de 2019). *El profe sabe*. Obtenido de <http://elprofe-sabe.blogspot.com/2013/07/destilacion-desde-sus-inicios-hasta-el.html>

Raspberry Pi Ltd. (22 de Octubre de 2019). Obtenido de https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/datasheets/rpi_DAT_A_CM_1p0.pdf

Rassem, H., Nour, A., & Yunus, R. (2016). Techniques For Extraction of Essential Oils From Plants: A Review. *Australian Journal Of Basic And Applied Sciences*. Obtenido de ajbasweb.com

Real Academia Española. (07 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=ZlkyMDs>

Romero Rochín, V. (16 de Octubre de 2019). *Termodinámica*. Obtenido de <http://www.fisica.unam.mx/personales/romero/TERMO2014/TERMO-NOTAS-2014.pdf>

Rosales, A. Q. (2004). Modelo dinamico de una columna de destilacion reactiva para la hidrodesulfuracion de gasóleo ligero. En A. R. Quintero, *Modelo dinamico de una columna de destilacion reactiva para la hidrodesulfuracion de gasóleo ligero*. Instituto Politecnico Nacional (IPN).

Sevmexico. (17 de Octubre de 2019). *equipos de vidrio*.

SEV-PRENDO - Equipo y vidrio científico. (14 de Octubre de 2019). *sevmexico*. Obtenido de <http://www.sevmexico.com/categorias/productos/?pr=101>

ShinyPiece. (15 de Octubre de 2019). *ShinyPiece Modern Pumps and Accessories*.

Obtenido de <http://shinypiece.com/yosoo-solar-dc-12v-24v-hot-water-circulation-pump-brushless-motor-water-pump-3m-5m-low-noise-csf-dc-24v/>

ShutterstockStudio. (16 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://shutterstock.puzzlepix.hu/kep/789133693>

SIGMA-ALDRICH. (s.f.).

Silva Castro, I. (09 de Octubre de 2019). *Tecnologías de mitigación de emisiones en centrales termoeléctricas a carbon*. Obtenido de hрудnick.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/Camara%20sedimentacion.html

SmetEngineers&Contractors. (2014). *dsengineers*. Obtenido de <https://www.dsengineers.com/es/sectores-de-actividades/aceites-vegetales-y-harinas/fabricacion-de-biodiesel/methylester-and-glycerin-production.html>

Songle. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <http://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/11/SRD-05VDC-SL-C-Datasheet.pdf>

Stichlmair, J., & Fair, J. R. (1998). *Distillation: Principles and practices* . En J. Stichlmair, & J. R. Fair, *Distillation: Principles and practices* . Wiley.

STMicroelectronics. (22 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.mouser.mx/datasheet/2/389/en.DM00105918-1501215.pdf>

Texas Instruments. (28 de 10 de 2014). *Tiva™ TM4C123GH6PM Microcontroller*. Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ds/spms376e/spms376e.pdf>

Texas Instruments Incorporated. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

Treybal, R. E. (2003). Operaciones de transferencia de masa. En R. E. Treybal, *Operaciones de transferencia de masa*. McGraw-Hill.

Tutoriales de electronica basica . (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <http://tutorialesdeelectronica basica.blogspot.com/>

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. (1995). *A MANUAL ON THE ESSENTIAL OIL INDUSTRY*. VIENNA: K TULEY DE SILVA.

UNITFINE Machinery Co., Ltd. (07 de Octubre de 2019). *UNITFINE* . Obtenido de <https://fr.unit-fine.com/ultrasonic-vibrating-screen/>

Universidad de Sevilla. (14 de Octubre de 2019). *RODAS*. Obtenido de https://rodas5.us.es/file/e3684961-322a-673c-dfa0-505c2bcc0e27/3/cuadernillo_scorm.zip/pagina_07.htm

University of Cambridge. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/batteries/batteries_zn_c.php

Valle, B. L. (1998). El alcohol en el mundo Occidental. En B. L. Valle, *El alcohol en el mundo Occidental*.

Volak, J., & Stodola, J. (2013). Plantas Medicinales. En J. Volak, & J. Stodola, *Plantas Medicinales*. Susaeta.

Wankat, P. C. (2009). Ingeniería de procesos de separación. En P. C. Wankat, *Ingeniería de procesos de separación* (pág. 723). Pearson Educación.

Widmer, R. J. (2007). *Sistemas digitales Principios y aplicaciones*. Pearson Prentice Hall.

WIKI Alexander Wiegand SE & Co. KG. (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/temperatura/cmo-funciona-termopar/>

Wikipedia. (14 de Octubre de 2019). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Destilaci%C3%B3n_flash

Zill, D. G. (2009). *Ecuaciones Diferenciales con problemas con valores en la frontera*. Cengage Learning.

APÉNDICE 1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SOLVENTES

Physical Properties of Solvents

Solvent Name	Density	Boiling Point (°C)	Melting Point (°C)	Flash Point (°C)	Viscosity (cp, 20 °C)	Dielectric Constant (20°C)	UV Cutoff (nm)	Refractive Index (20 °C)
Acetic acid	1.049	118	17	40	1.31(15)	6.15	–	1.372
Acetic anhydride	1.082	138-140	-73	54	–	–	–	1.390
Acetone	0.791	56	-94	-17	0.32	20.7(25)	330	1.359
Acetonitrile	0.786	82	-48	5	0.37	37.50	190	1.344
Benzene	0.874	80	6	-11	0.65	2.28	280	1.501
Benzonitrile	1.010	191	-13	71	1.24(25)	–	300	1.528
1-Butanol	0.810	117.7	-90	35	2.95	17.80	215	1.399
2-Butanone (or methyl ethyl ketone)	0.805	80	-87	-3	0.42(15)	18.50	329	1.379
Butyl acetate	0.882	124-126	-78	22	0.73	–	254	1.394
tert-Butyl methyl ether	0.740	53-56	–	-32	0.27	–	210	1.369
Carbon disulfide	1.266	46	-112	-30	0.37	–	380	1.627
Carbon tetrachloride	1.594	77	-23	–	0.97	2.24	263	1.460
Chlorobenzene	1.106	132	-45	23	0.80	2.71	287	1.524
1-Chlorobutane (or butyl chloride)	0.886	77-78	-123	-6	0.35	–	225	1.402
Chloroform	1.492	61	-64	–	0.58	4.81	245	1.446
Cyclohexane	0.779	80	7	-18	0.98	2.02	200	1.426
Cyclopentane	0.751	50	-94	-37	0.44	1.97	200	1.400
1,2-Dichlorobenzene	1.306	180	-17	65	1.32(25)	9.93(25)	295	1.551
1,2-Dichloroethane	1.256	83	-35	15	0.79	–	225	1.445
Dichloromethane	1.325	40	-97	–	0.45(15)	9.08	233	1.424
Di(ethylene glycol) diethyl ether (or 2-ethoxyethyl ether)	0.909	180-190	–	71	–	–	260	1.412
N,N-Dimethylacetamide	0.937	165	-20	70	2.14	37.80	268	1.438
N,N-Dimethylformamide	0.944	153	-61	57	0.92	36.70	268	1.430
1,4-Dioxane	1.034	100-102	12	12	1.44(15)	2.209(25)	215	1.422
Ether	0.706	34.6	-116	-40	0.24	4.34	218	1.353
Ethyl acetate	0.902	77	-84	-3	0.46	6.02(25)	256	1.372
Ethyl alcohol	0.816	78	-114	16	1.10(25)	24.55(25)	205	1.363
Ethylene glycol dimethyl ether (or monoglyme)	0.867	85	-58	0	0.46(25)	7.20(25)	220	1.379
Heptane	0.684	98	-91	-1	0.42	1.92	220	1.387
Hexane	0.659	69	-95	-23	0.31	1.89	200	1.375
Hexanes	0.672	68-70	–	-22	–	–	210	1.379
2-Methoxyethanol	0.965	124-125	-85	46	1.72	16.90	210	1.402
2-Methoxyethyl acetate	1.009	145	-65	43	–	–	254	1.402
Methyl alcohol	0.791	64.7	-98	11	0.55	32.6(25)	205	1.329
2-Methylbutane	0.620	30	–	-56	–	–	192	1.354
3-Methyl-1-butanol (or isoamyl alcohol)	0.809	130	-117	45	–	–	215	1.406
4-Methyl-2-pentanone (or methyl isobutyl ketone)	0.801	117-118	-80	13	0.58	–	334	1.396
2-Methyl-1-propanol (or isobutyl alcohol)	0.803	108	-108	27	4.70(15)	15.8(25)	200	1.396
2-Methyl-2-propanol	0.775	83	25-26	11	–	–	215	1.387
1-Methyl-2-pyrrolidinone	1.028	81-82 (10mm)	-24	86	1.67(25)	32.00	285	1.470
Methyl sulfoxide	1.101	189	18.4	85	2.24	–	268	1.479
Nitromethane	1.127	101.2	-29	35	0.67	–	380	1.382
1-Octanol	0.827	196	-15	81	10.6(15)	–	215	1.429
Pentane	0.626	35-36	-130	-49	0.24	1.84	200	1.358
3-Pentanone	0.813	102	-40	-49	–	–	330	1.392
1-Propanol	0.804	97	-127	15	2.26	20.1(25)	210	1.384
2-Propanol	0.785	82.4	-89.5	22	2.86(15)	18.3(25)	210	1.377
Propylene carbonate	1.189	240	-55	132	–	–	235	1.421
Pyridine	0.978	115	-42	20	0.95	12.3(25)	330	1.510
Tetrachloroethylene	1.623	121	-22	–	–	–	290	1.506
Tetrahydrofuran	0.889	65-67	-108	-17	0.55	7.60	212	1.407
Toluene	0.865	110.6	-93	4	0.59	2.4(25)	284	1.496
1,1,2-Trichlorotrifluoroethane	1.570	47-48	-35	–	0.69	–	231	1.358
2,2,4-Trimethylpentane	0.692	98-99	-107	-7	0.50	1.94	215	1.391
Water	1.000	100	0	–	1.00	78.54	<190	1.333
m-Xylene	0.868	138-139	–	25	–	–	–	1.497
o-Xylene	0.870	143-145	-23	32	0.81	2.57	288	1.505
p-Xylene	0.866	138	12	27	0.65	2.27	290	1.495

SIGMA-ALDRICH®

APÉNDICE 2 SOLVENTES COMÚNMENTE USADOS EN QUÍMICA ORGÁNICA

Common Solvents Used in Organic Chemistry: Table of Properties ^{1,2,3}

Solvent	formula	MW	boiling point (°C)	melting point (°C)	density (g/mL)	solubility in water (g/100g)	Dielectric Constant ^{3,4}	flash point (°C)
acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	60.052	118	16.6	1.0446	Miscible	6.20	39
acetone	C ₃ H ₆ O	58.079	56.05	-94.7	0.7845	Miscible	21.01	-20
acetonitrile	C ₂ H ₃ N	41.052	81.65	-43.8	0.7857	Miscible	36.64	6
benzene	C ₆ H ₆	78.11	80.1	5.5	0.8765	0.18	2.28	-11
1-butanol	C ₄ H ₁₀ O	74.12	117.7	-88.6	0.8095	6.3	17.8	37
2-butanol	C ₄ H ₁₀ O	74.12	99.5	-88.5	0.8063	15	17.26	24
2-butanone	C ₄ H ₈ O	72.11	79.6	-86.6	0.7999	25.6	18.6	-9
<i>t</i> -butyl alcohol	C ₄ H ₁₀ O	74.12	82.4	25.7	0.7887	Miscible	12.5	11
carbon tetrachloride	CCl ₄	153.82	76.8	-22.6	1.594	0.08	2.24	--
chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	112.56	131.7	-45.3	1.1058	0.05	5.69	28
chloroform	CHCl ₃	119.38	61.2	-63.4	1.4788	0.795	4.81	--
cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84.16	80.7	6.6	0.7739	0.0055	2.02	-20
1,2-dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	98.96	83.5	-35.7	1.245	0.861	10.42	13
diethylene glycol	C ₄ H ₁₀ O ₃	106.12	246	-10	1.1197	10	31.8	124
diethyl ether	C ₄ H ₁₀ O	74.12	34.5	-116.2	0.713	7.5	4.267	-45
diglyme (diethylene glycol dimethyl ether)	C ₆ H ₁₄ O ₃	134.17	162	-68	0.943	Miscible	7.23	67
1,2-dimethoxyethane (glyme, DME)	C ₄ H ₁₀ O ₂	90.12	84.5	-69.2	0.8637	Miscible	7.3	-2
dimethylformamide (DMF)	C ₃ H ₇ NO	73.09	153	-60.48	0.9445	Miscible	38.25	58
dimethyl sulfoxide (DMSO)	C ₂ H ₆ OS	78.13	189	18.4	1.092	25.3	47	95
1,4-dioxane	C ₄ H ₈ O ₂	88.11	101.1	11.8	1.033	Miscible	2.21(25)	12
ethanol	C ₂ H ₆ O	46.07	78.5	-114.1	0.789	Miscible	24.6	13
ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	88.11	77	-83.6	0.895	8.7	6(25)	-4
ethylene glycol	C ₂ H ₆ O ₂	62.07	195	-13	1.115	Miscible	37.7	111
glycerin	C ₃ H ₈ O ₃	92.09	290	17.8	1.261	Miscible	42.5	160
heptane	C ₇ H ₁₆	100.20	98	-90.6	0.684	0.01	1.92	-4
Hexamethylphosphoramide (HMPA)	C ₆ H ₁₈ N ₃ OP	179.20	232.5	7.2	1.03	Miscible	31.3	105
Hexamethylphosphorous triamide (HMPT)	C ₆ H ₁₈ N ₃ P	163.20	150	-44	0.898	Miscible	??	26
hexane	C ₆ H ₁₄	86.18	69	-95	0.659	0.0014	1.89	-22
methanol	CH ₄ O	32.04	64.6	-98	0.791	Miscible	32.6(25)	12
methyl <i>t</i> -butyl ether (MTBE)	C ₅ H ₁₂ O	88.15	55.2	-109	0.741	5.1	??	-28
methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	84.93	39.8	-96.7	1.326	1.32	9.08	1.6
<i>N</i> -methyl-2-pyrrolidinone (NMP)	CH ₅ H ₉ NO	99.13	202	-24	1.033	10	32	91

nitromethane	CH ₃ NO ₂	61.04	101.2	-29	1.382	9.50	35.9	35
pentane	C ₅ H ₁₂	72.15	36.1	-129.7	0.626	0.04	1.84	-49
Petroleum ether (ligroine)	--	--	30-60	-40	0.656	--	--	-30
1-propanol	C ₃ H ₈ O	60.10	97	-126	0.803	Miscible	20.1(25)	22
2-propanol	C ₃ H ₈ O	60.10	82.4	-88.5	0.785	Miscible	18.3(25)	12
pyridine	C ₅ H ₅ N	79.10	115.2	-41.6	0.982	Miscible	12.3(25)	17
tetrahydrofuran (THF)	C ₄ H ₈ O	72.106	65	-108.4	0.8833	soluble ⁵	7.52	-14
toluene	C ₇ H ₈	92.14	110.6	-93	0.867	0.05	2.38(25)	4
triethyl amine	C ₆ H ₁₅ N	101.19	88.9	-114.7	0.728	0.02	2.4	-11
water	H ₂ O	18.02	100.00	0.00	0.998	--	78.54	--
water, heavy	D ₂ O	20.03	101.3	4	1.107	Miscible	??	--
<i>o</i> -xylene	C ₈ H ₁₀	106.17	144	-25.2	0.897	Insoluble	2.57	32
<i>m</i> -xylene	C ₈ H ₁₀	106.17	139.1	-47.8	0.868	Insoluble	2.37	27
<i>p</i> -xylene	C ₈ H ₁₀	106.17	138.4	13.3	0.861	Insoluble	2.27	27

Notes:

1. This table was originally from: [Professor Murov's Organic solvent table](#)
2. You can find more detailed information (Health & Safety, Physical, Regulatory, Environmental) on various organic solvents from [NCMS](#)
3. The values in the table above were obtained from the CRC (87th edition), or Vogel's *Practical Organic Chemistry* (5th ed.).
4. T = 20 °C unless specified otherwise.
5. The water solubility of THF is complex. See: [ref](#)
6. Solvent guides for following Green Chemistry principles are available at: <https://organicdivision.org/GreenChemistry/>
7. A PDF version of this page is available [here](#).

Questions or Comments? Please Contact:

[Brian J. Myers](#)

Web Master, Division of Organic Chemistry, ACS

For more information about the Division See: www.organicdivision.org

This Page was Updated: Tuesday April 9, 2019

APÉNDICE 3. RIESGOS PARA LA SALUD DERIVADOS DEL USO, MANIPULACIÓN Y EXPOSICIÓN A LOS DISOLVENTES

Clasificación de los disolventes

Clases de disolventes	Ejemplos de los disolventes más utilizados
Hidrocarburos alifáticos	Pentano, hexano, heptano, decano
Hidrocarburos alicíclicos	Ciclohexano, metilciclohexano, (alfa-Pineno)
Hidrocarburos aromáticos	Benceno, tolueno, xileno, etilbenceno, estireno
Hidrocarburos halogenados	Cloruro de metileno, cloroformo, tricloroetileno, tetracloruro de carbono, 1,2-dicloroetano, freones, 1,1,1-tricloroetano, tetracloroetileno
Alcoholes	Metanol, etanol, i-propanol, butanol
Glicoles	Etilenglicol, dietilenglicol
Eteres	2-metoxietanol, etoxietanol, butoxietanol, p-dioxano
Esteres	Acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de i-propilo, acetato de n-butilo, acetato de i-butilo, acetato de 2-etoxietilo, metacrilato de metilo
Cetonas	Acetona, butanona-2, 4-Metil-pentanona-2, hexanona-2, ciclohexanona
Otros	Nitroparafinas, disulfuro de carbono

Fuente *Daphnia*

Emisiones procedentes del uso de disolventes en la industria

Actividad consumidora de disolventes orgánicos	Porcentaje de emisiones
Aplicación de pinturas fabricación de automóviles	6,3
Otras aplicaciones industriales de pinturas	32,0
Desengrasado de metales	12,8
Limpieza en seco	4,1
Tratamiento del caucho	2,1
Fabricación de productos farmacéuticos	4,5
Fabricación de pinturas y tintas	1,4
Fabricación de adhesivos	3,6
Imprenta	13,4
Extracción de grasa y aceite comestible y no comestible	4,3
Recubrimiento adhesivo	10,4
Conservación de bosques	5,1

1. Cuadros de riesgos para la salud derivados del uso, manipulación y exposición a los disolventes

Grupo expuesto	Síntomas subjetivos	Afectación visual-motora	Memoria	Afectación lenguaje	Humor
Pintores coche	X	X	X	X	X
Lacadores	X				X
Pintores casas	X	X	X	X	X
Pintores <i>spray</i>	X	X	X	---	
Rayón viscosa		X	X	---	
Laminación		X	---	---	
Impresión		---	X	---	
Acerería		X			---

Fuente Baker E. L., Smith, T. J. 1984

X Efectos adversos observados

--- Efectos explorados pero no observados

Disolventes orgánicos Efectos reproductivos

Agente	Exposición	Disminución fertilidad	Alteración cromosómica	Prematuridad	Mortalidad Perinatal	Malformación congénita
Benceno	Materna	X	X			X
Dibromocloro-propano	Paterna	X	?			
Epiclorhidrina	Paterna	X	X		---	
Dibromuro de etileno	Materna	X				
	Paterna	X	X			X
Percloroetileno	Materna	X ?		?	?	?

Fuente Zenc, C. 1980

Riesgos a largo plazo de los principales disolventes orgánicos de utilización industrial

	Mutagenidad	Cancerígenos en humanos	Cancerígenos en animales	Neurotóxicidad	Hepatotoxicidad
Acetato de metilo					X
Acetato de etilo					X
Acetonitrilo o cianuro de metilo				X	
Alcohol metílico				X	
Benceno		X		X	
Clorobenceno				X	X
Cloroformo			X	X	X
Cloruro de metileno o diclorometano			X	X	X
Dicloroetano				X	X
Dicloropropano				X	
Dimetilcetamida (DMA)					X
Dimetilformamida				X	X
Dioxano			X	X	
Estireno	X			X	
Eter etílico				X	
Etilenglicol					X
Formaldehído	X	X		X	
N-Hexano e isómeros				X	
Metil-n-butilcetona (MBK)				X	
Metiletilcetona (MEK)				X	
Nitrobenceno				X	
2-Nitropropano			X		X
Tetracloroetileno o percloroetileno			X	X	X
Tetracloruro de carbono			X	X	X
Tolueno				X	X
1,1,1 tricloetano o metilcloroformo				X	X
Tricloroetileno	X		X	X	X
Xileno e isómeros				X	

Fuentes

Laureni, U., Rigosi, F. 1985
 Spencer, P. S., Schaumburg, H. H. 1985
 Mousel, M. L., Picot., A. 1985
 Quer Brossas, S., Mira Muñoz, M. 1989
 Turuguet, D. 1990

Proceso de producción	Disolventes orgánicos	Alternativas de sustitución
Alimentación		
Limpieza de equipo con surfactantes	Butilenglicol, propilenglicol, etanol.	1 Surfactantes en emulsión salina. 2 Otros tipos de surfactantes.
Extracción de aceites vegetales	N-Hexano	Extracción sobre el punto crítico con Dióxido de carbono.
Industria textil		
Lavado de tejidos con surfactantes	Butilenglicol, Propilenglicol	1 Surfactantes en emulsión salina. 2 Otros tipos de surfactantes.
Lavados de tejidos con <i>Anti-foam</i>	2-Propanol	Emulsión de surfactantes.
Quitar manchas de aceite	CFC 113, 1,1,1-tricloroetileno	Evitar las manchas ajustando máquinas.
Limpieza en seco	CFC 113, Tetracloroetileno	Diseñar y vender ropa que no precise limpieza en seco.
Industria del calzado		
Unir los adornos y refuerzos	N-Heptano, Acetato de etilo	1 Adhesivos al agua. 2 Cinta adhesiva a dos caras.
Pretratamiento de suelas	Acetato de etilo	Preparación mecánica (rascado).
Unión del cuero con la suela	Tolueno, acetona, diclorometano, MEK, acetato de etilo	1 ¿Adhesivos al agua? 2 ¿Película adhesiva?

(Sorensen, F. Styhr Petersen, H. J. 1991)

Unión de la cubierta de la suela y pieza de látex	Tolueno, heptano, acetato de etilo	1 Fusión por calor. 2 Capa adhesiva.
Acabado del zapato, Color y pulido	Nafta <i>White spirit</i> (*)	¿Agentes de base acuosa?
Madera y muebles		
Tapizado de muebles	1,1,1-Tricloroetano, N-Hexano, acetona, Tolueno	1 Adhesivos al agua. 2 Sujeción mecánica (grapas). 3 ¿Cinta adhesiva a dos caras?
Limpieza de serrín en las partes metálicas pulidas	Queroseno	Limpieza con bloques de caucho crudo.
Preservación de la madera (impregnación)	<i>White spirit</i> (*)	1 Agentes de base acuosa. 2 Usar madera vieja u otros métodos de construcción.
Protectores de superficie de la madera	Hidrocarburos aromáticos, alicíclicos y alifáticos	Agentes de base acuosa.
Pintura, lacado	Acetato de butilo, Acetato de etilo	1 No tratamientos. 2 Capa de cera (pino). 3 Tratamiento con jabón (haya). 4 Pintura de base acuosa.
Imprentas		
Limpieza de lentes, pantallas luminosas y películas	1,1,1-Tricloroetano, etanol.	Solución al 1% de carbonato de sodio.
Productos antiestáticos en películas	1,1,1-Tricloroetano.	Usar películas antiestáticas.
Pegado en montaje y composición	1,1,1-Tricloroetano, nafta.	1 Barra de cola. 2 Cera. 3 Adhesivo de doble cara. 4 Pantalla estirada.
Retocado de películas	Tolueno, etanol	1 Cubierta de color base acuosa usando pluma o cepillo. 2 Tapa roja para negativo de película
Revelador de película	Etilenglicol, metilenglicol, propilenglicol, y derivados.	Usar revelador sin disolventes orgánicos.
Revelado de cliché		
Metal	1,1,1-Tricloroetileno	Etil acetato, butil acetato.
Fotopolímeros	Etanol	Agua, usando otro tipo de plancha.
Planchas de off-set	Etilenglicol, metilenglicol, propilenglicol y derivados	Revelador base agua sin disolventes orgánicos, usando otro tipo de plancha.

Retocado de planchas (con ácido hidrofúrico)	Dimetil formaldehído	1 Revisar y limpiar la película antes de la exposición. 2 Exposición de la plancha con hoja difusora. 3 Hacer una nueva plancha.
Pantalla de imprimir pegado de pantalla a la estructura (con isocianato)	Acetato de etilo, acetona	Montaje con sistema elástico incorporado.
Pantalla de imprimir emulsiones de impresión	Alcoholes	1 Revisar y limpiar los positivos y películas antes de la exposición. 2 Usar la emulsión y reexponer.
Flexo impresión goma de pegar cliché y plancha	Nafta	1 Adhesivo de doble cara. 2 Junta mecánica.
Reveladores para cliché de fotopolímeros	Butanol/tetracloro etileno.	Nafta/etanol usando otro tipo de cliché de fotopolímeros.
Huecograbado fotorrelieves	Disolventes orgánicos	Reveladores en base acuosa usando un nuevo tipo de revelador.
Tinta de imprimir en offset con disolvente en forma de aerosol	1,1,1-Tricloroetano	En bote con boca plana directamente, con rodillo sin disolvente orgánico.
Impresión en off-set solución fuente	2-Propanol.	?
Limpieza de plachas	<i>White spirit</i> (*)	Polvos de limpieza hidrosolubles.
Pegar papel, arreglar roturas durante la impresión	N-Hexano.	Cinta adhesiva por ambos lados.
Lavado de rodillo de color y otros equipos (ej. emulsión con agua)	Nafta, acetonas, tolueno	1 Fregar con cepillo y agua caliente. 2 Agua a presión.
Limpieza de superficies de máquinas de imprenta	Queroseno	Agua caliente y jabón.
Tratamiento de superficies después de imprimir	Acetato de butilo, acetato de etilo, xileno, tolueno	1 Tinta sin color. 2 Laminado con productos base acuosa.
Impresión por pantalla tintas	Tintas con disolventes	1 Tintas en base acuosa. 2 Tintas plastisol.
Impresión por pantalla limpieza de pantalla	Disolventes orgánicos	1 Evitar secado de la tinta. 2 Agua si es eficaz.
Fotoimpresión	Etanol, 2-propanol, acetato de etilo, MEK, tolueno	Tintas en base acuosa (con 5-25% de disolventes orgánicos) y limpieza con agentes en base acuosa.

Huecograbado	Tolueno, nafta	Tintas en base acuosa y limpieza con agentes en base acuosa.
Encuadernación de libros con cola	1,1,1-Tricloroetano, tolueno, etanol, acetato de etilo	1 Adhesivos PVA sin disolventes orgánicos. 2 Fundido por calor.
Tratamiento de superficies y encuadernación	Acetato de etilo, etanol, tolueno, 2-Propanolacetato, acetona	Productos en base acuosa.
Laminar	Acetona, MEK, acetato de etilo 2-Propanolacetato	1 Adhesivos en base acuosa. 2 Específico hoja de poliéster fijada en papel mediante calor. 3 Co-extrusión.
Utilización de agentes antiestáticos en forma de aerosol en superficies de equipos de encuadernación	1,1,1-Tricloroetano	Bote con cuello plano en plano o cepillo sin disolvente orgánico.
Fundición		
Fundición en moldes con fijador orgánico (isocianatos)	C9-C10 Alquilaromáticos	Usar fijadores inorgánicos (silicato de sodio) sin disolventes orgánicos.
Betún	Etanol, 2-propanol	Agentes base acuosa.
Desmoldeado en fundición de troqueles a presión	Etilen glicol	Almacenamiento sin congelación.
Fabricación de piezas metálicas, maquinaria y equipos		
Corte de roscas y taladrar en acero inoxidable y cobre	1,1,1-Tricloroetano	1 Agentes basados en aceites vegetales (de colza con 50% de ácido eruca). 2 Agentes de base acuosa sin disolventes orgánicos
Corte con agente de base acuosa y disolvente orgánico	Hexilen glicol, propilen glicol y derivados	Agentes de base acuosa sin disolventes orgánicos.
Bruñido	Queroseno	Hidrocarburos alifáticos con punto de ebullición 250 ° C.
Pulido previo	Queroseno	Agentes base acuosa.
Acabado final	Queroseno	Hidrocarburos alifáticos con punto de ebullición 250 ° C.
Mecanizado de bujías	Queroseno	Hidrocarburos alifáticos con punto de ebullición 250 ° C.
Soldadura fase vapor industria electrónica	CFC 113	Horno continuo de infrarrojos.

Eliminación de flujos post-soldadura en la industria electrónica	CFC 113/etanol, aceite terpeno naranja	<ol style="list-style-type: none"> 1 Usar flujos hidrosolubles. 2 No eliminar, usar flujos con poco contenido de residuos. 3 No eliminar, usar flujos con ácido fórmico o adípico en circuito cerrado con nitrógeno.
Pegar	1,1,1-Tricloroetano, tolueno, acetato, MEK diclorometano, etanol xileno, estireno, metacrilato de metilo	<ol style="list-style-type: none"> 1 No unir (cambiar diseño). 2 Unir de forma mecánica. 3 Cinta adhesiva por ambos lados. 4 Adhesivos menos perjudiciales; base acuosa, fundido en caliente, silicona.
Lubricación	1,1,1-Tricloroetano	Lubricantes sin disolventes orgánicos.
Desengrasar metales	Diclorometano, tetracloroetileno, 1,1,1-Tricloroetano, 1,1,1-Tricloroetileno, CFC 113, tolueno, Xileno, 2-propanol, nafta, n-hexano, queroseno, butilenglicol, <i>white spirit</i> (*)	Solución alcalina acuosa sin disolventes orgánicos.
Pintura	Xileno, tolueno, butanol, 2-propanol, etilenglicol, butilenglicol, acetato de butilo	<ol style="list-style-type: none"> 1 Pintura de base acuosa con un máximo de 10% de disolvente orgánico. 2 Chapa pretratada.
Eliminación de pintura vieja	Diclorometano, metano	<ol style="list-style-type: none"> 1 Solución alcalina. 2 Quemar. 3 Tratar arena caliente. 4 Amolado. 5 Soplar con por ejemplo virutas de acero. 6 Congelado con nitrógeno líquido.

(*) *White spirit* mezcla de parafinas e hidrocarburos

Fuente *Gabinete Salud Laboral, CC OO.*

	Aplicaciones	Beneficios operacionales	Limitaciones	Costes de inversión
Limpieza acuosa automatizada	Piezas pequeñas	<ul style="list-style-type: none"> - Elimina el uso de disolventes - Reduce el consumo de agua - Reutilización de agentes de limpieza - Fácil instalación y operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede no sustituir los sistemas de vapor para algunas piezas delicadas y ocupa más espacio - Requiere tratamiento de aguas residuales - Relativo aumento de la demanda energética 	Aproximadamente 180.000 dólares (en torno a 21,5 Mptas) por una unidad con 454 Kg/hora de velocidad de proceso para piezas de acero
Lavado acuoso con potencia	Piezas grandes y pequeñas	<ul style="list-style-type: none"> - Elimina el uso de disolventes - Reduce el tiempo de limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> - La presión y temperatura pueden ser demasiado grandes para algunas piezas - Requiere tratamiento de aguas residuales 	Aproximadamente 12.000 dólares (en torno a 1,5 Mptas) para una capacidad de 454 Kg, cámara de 1,22 m x 1,22 m
Limpieza ultrasónica	Cerámica, aluminio, plástico, metal, cristal, cables, equipo de electrónica, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Elimina el uso de disolventes - Puede limpiar entre fisuras pequeñas - Efectivo en relación al coste - Más rápido que métodos convencionales - Limpian inorgánicos - Puede emplearse con frecuencia detergentes neutrales o biodegradables 	<ul style="list-style-type: none"> - La pieza debe poder sumergirse - Es preciso experimentar para la optimización de la disolución y niveles de cavitación para cada operación - Aceites densos y grasas pueden absorber energía ultrasónica - La energía requerida suele limitar el tamaño de las piezas - Requiere tratamiento residual de aguas con disoluciones acuosas 	Aproximadamente 10.000 dólares (en torno a 1,2 Mptas) para una cámara de 63,5 cm x 45,7 cm x 38,1 cm.

APÉNDICE 4 TIPOS DE CONDENSADORES

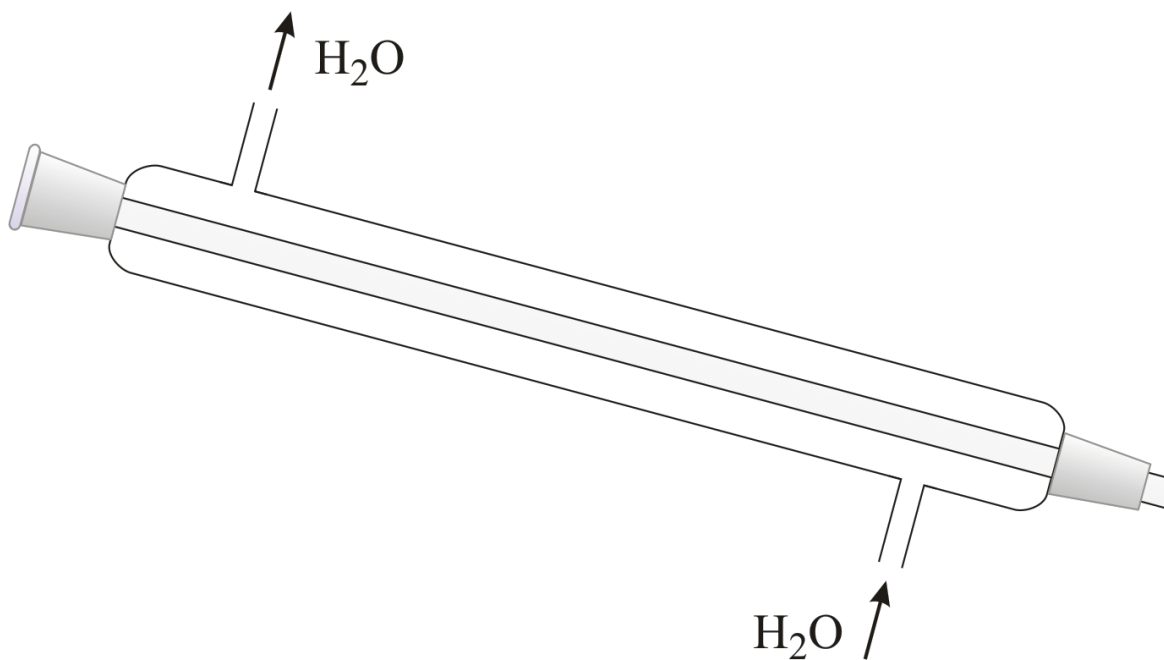


Figura 84. Condensador tipo Liebig. (Eni Generalic, 2019)

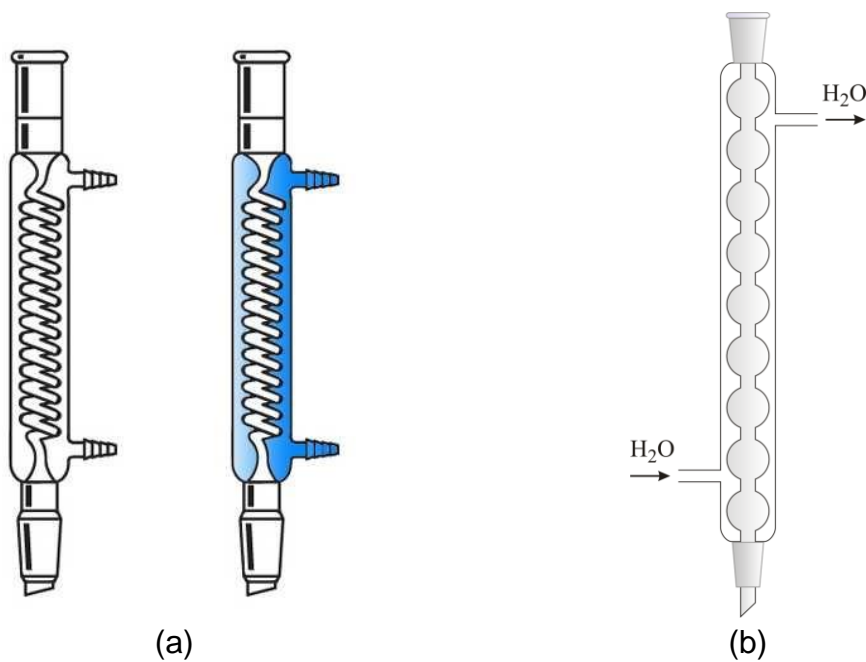


Figura 85. a) Condensador tipo Graham. (CTechGlass, 2019) b) Condensador tipo Allihn (Eni Generalic, 2019)

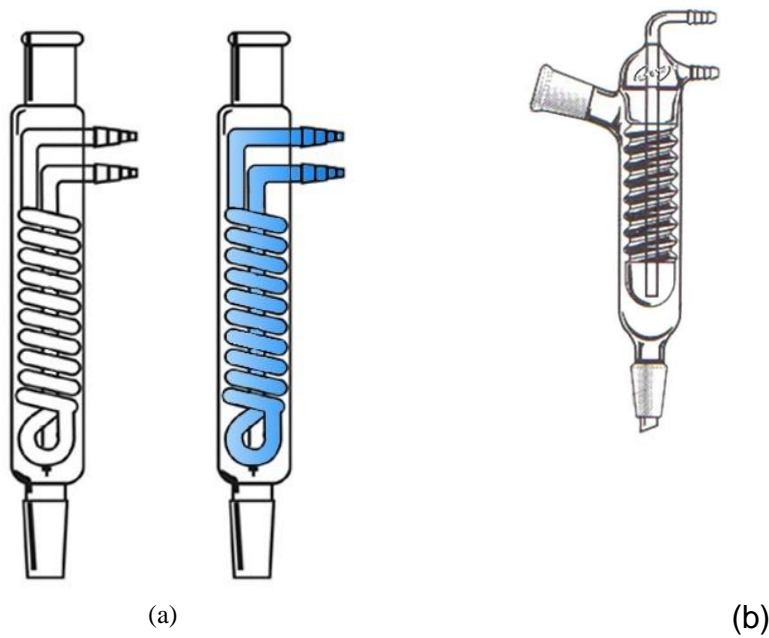


Figura 86. a) Condensador tipo Dimroth. (CTechGlass, 2019) b) Condensador tipo Friedrichs. (SEV-
PRENDO - Equipo y vidrio científico, 2019)

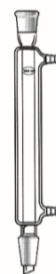
APÉNDICE 5 TIPOS DE COLUMNA DE DESTILACIÓN EMPLEADAS EN EL LABORATORIO



Figura 87. Columna para destilación simple (SEV-PRENDO - Equipo y vidrio científico, 2019).



(a)



(b)

Figura 88. a) Columna para destilación simple con enchaquetado al alto vacío. (SEV-PRENDO - Equipo y vidrio científico, 2019). b) Columna para destilación simple con enchaquetado. (SEV-PRENDO - Equipo y vidrio científico, 2019)



(a)



(b)

Figura 89. *a) Columna para destilación tipo Snyder. (SEV-PRENDO - Equipo y vidrio científico, 2019).*

b) Columna para destilación tipo Vigreux. (SEV-PRENDO - Equipo y vidrio científico, 2019)