

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE DESTILADOR ELECTRÓNICO AUTOMATIZADO PARA LOS LABORATORIOS DE CIENCIAS NATURALES QUÍMICAS

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ELECTRONIC DISTILLER PROTOTYPE FOR THE LABORATORIES OF NATURAL CHEMICAL SCIENCES

Celger Paola Chamat Torres⁽¹⁾ Gabriel Enrique Romero Cabarcas⁽²⁾, Giovanni Bracho Tovar⁽³⁾

5. Ingeniera Electrónica, Universidad Popular del Cesar (UPC), Departamento de Ingeniería Electrónica. Valledupar, Colombia.
celgerpao2095@hotmail.com
 6. Ingeniero Electrónico, Universidad Popular del Cesar (UPC), Departamento de Ingeniería Electrónica. Valledupar, Colombia.
geromero@unicesar.edu.co
 4. Ingeniero Electrónico, Ms. en Ingeniería. Docente asociado, Universidad Popular del Cesar (UPC), Departamento de Ingeniería Electrónica. Valledupar, Colombia.
giovannibracho@unicesar.edu.co
-

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de un prototipo de destilador electrónico automatizado para los laboratorios de ciencias naturales químicas de la Universidad Popular del Cesar, que permite al docente y estudiante realizar prácticas experimentales como la obtención de alcohol mediante destilación simple. El prototipo consta principalmente de un módulo de instrumentación y control que se encarga de medir y acondicionar las señales derivadas de los sensores de temperatura y masa, además de controlar las señales recibidas de los módulos que componen el proceso de destilación, tales como, calefacción, bombeo y refrigeración de agua. Consta también de un aplicativo de interfaz gráfica Android donde se visualizan, monitorean y configuran las variables del proceso mediante una pantalla en el equipo; para enlazar la interfaz con el módulo de instrumentación y control se utiliza la tecnología inalámbrica Bluetooth. Lo anteriormente mencionado es acompañado de las características de los elementos implementados, configuraciones y protocolos correspondientes.

Palabras Claves: Android, Bluetooth, destilación simple, interfaz gráfica, prototipo

ABSTRACT

This work presents the development of an automated electronic distiller prototype for the chemical natural sciences laboratories of the Universidad Popular del Cesar, which allows the teacher and student to perform experimental practices such as obtaining alcohol by simple distillation. The prototype consists mainly of an instrumentation and control module

that is responsible for measuring and conditioning the signals derived from the temperature and mass sensors, in addition to controlling the signals received from the modules that make up the distillation process, such as heating, pumping and cooling water. It also consists of an Android graphical interface application where the variables of the process are visualized, monitored and configured through a screen on the computer; to connect the interface with the instrumentation and control module, Bluetooth wireless technology is used. The aforementioned is accompanied by the characteristics of the elements implemented, configurations and corresponding protocols.

Keywords: Android, Bluetooth, graphic interface, prototype, simple distillation

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de destilación es ampliamente usado en la industria química, siendo este un método mediante el cual el calor evapora una solución líquida para separarla en distintos compuestos, y su utilización se fundamenta en la existencia de diferencias en los puntos de ebullición de los componentes de la mezcla. En resumen, la destilación consiste en calentar una mezcla líquida hasta su punto de ebullición, donde el líquido se convertirá rápidamente en vapor y de este modo, cuando los vapores más ricos en el componente más volátil pasen por un tubo refrigerante se condensarán en un recipiente separado. Solo cuando los componentes de la mezcla tienen presiones de vapor suficientemente diferenciados o puntos de ebullición, pueden ser separados por destilación [1]. Sin embargo, dependiendo del porcentaje de pureza que se desea obtener, se utilizan diferentes tipos de destilación, primordialmente:

la destilación simple o destilación fraccionada [2].

En los laboratorios de ciencias naturales químicas de la Universidad Popular del Cesar del campus Sabanas en Valledupar, se lleva a cabo el proceso de destilación simple mediante ensamble manual de los instrumentos y el uso de mecheros. Uno de los principales problemas de los equipos existentes para este fin y del montaje usado habitualmente para la destilación simple, es que representa la generación de un desperdicio considerable de agua, alrededor de 3 litros por minuto, es decir, 90 litros en media hora del proceso, esto surge como consecuencia de no reutilizar el agua empleada para la condensación del vapor, sino que es desechada. Además, el uso de mecheros para calentar la sustancia y termómetros de mercurio para monitorear la temperatura, no permiten un control autónomo del mismo, debido a que el

operario se debe involucrar en el proceso al ejercer el control manual de la temperatura. Por lo tanto, se planteó el desarrollo y construcción de un destilador electrónico automatizado capaz de medir, acondicionar, monitorear y controlar las variables involucradas en el proceso, enviando y visualizando los datos en una interfaz gráfica. Permitiendo así el ahorro del tiempo implementado en el ensamble de los instrumentos por parte de los estudiantes en el desarrollo de prácticas en asignaturas como química general, química orgánica, entre otras.

Con la implementación del prototipo se busca la reducción de sesgo en los resultados, la optimización de la separación de sustancias, una mayor apropiación en los conocimientos por parte de los estudiantes y evitar el desperdicio de agua.

2. ANTECEDENTES

A continuación, estarán plasmados algunos de los proyectos electrónicos que han sido enfocados en la destilación:

La Escuela Politécnica Nacional de Quito, en la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica, que desarrolló un sistema automático de purificación de agua por medio de energía, reflexión solar y luz ultravioleta a cargo de Miguel Ángel Lema Carrera.

El Centro Interdisciplinario de Investigación e Innovación (CICA) de la Universidad católica de santa maría (UCSM, Perú), diseñó y construyó un destilador solar de obtención de agua destilada para laboratorios de la UCSM, obteniendo agua destilada con conductividad no mayor a 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para uso en laboratorios[3].

La Universidad del Cauca – Popayán Colombia, a cargo de los Estudiantes de Ingeniería Automática Industrial Beller E. Gamboa, Juan M. Idrobo, desarrollaron el proyecto de automatización del proceso de fermentación de la melaza para la obtención de alcohol etílico, el cual es un sistema de automatización asistido por un controlador lógico programable (PLC) de la familia micrologix 1500, que permite actuar, monitorear y mantener las variables propias del proceso, tales como temperatura, nivel, concentración de oxígeno y pH, en un estado de funcionamiento normal.

La Universidad Nacional de San Luis (U.N.S.L., Argentina), desarrolló una planta experimental de destilación solar – eléctrica en la U.N.S.L. Diseñó y construyó un equipo de destilación solar de agua, para la provisión de la misma a laboratorios del departamento de ciencias Agropecuarias de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales, utilizando

destiladores del tipo de batea liviana [4].

2. METODOLOGÍA

El desarrollo del prototipo se llevó a cabo siguiendo seis fases, cada una con sus respectivas actividades lo que permitió así el cumplimiento de los objetivos planteados.

Fase 1. Investigación e identificación.

Fase 2. Diseño y construcción del módulo de instrumentación.

Fase 3. Diseño y construcción de los módulos calefacción, refrigeración y bombeo.

Fase 4. Desarrollo del software y firmware.

Fase 5. Validación del prototipo.

Fase 6. Análisis de resultados.

En las figuras 1 y 2, se observan los diagramas que describen las etapas que conforman el prototipo, desde la detección de las variables del proceso mediante sensores, hasta la visualización y procesamiento de las señales mediante la interfaz gráfica y el módulo de instrumentación y control.

Figura 1. Diagrama de bloques del diseño del prototipo

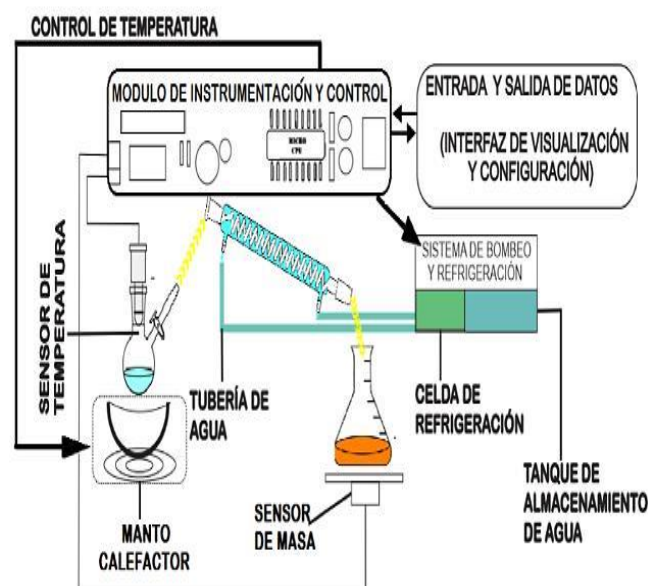
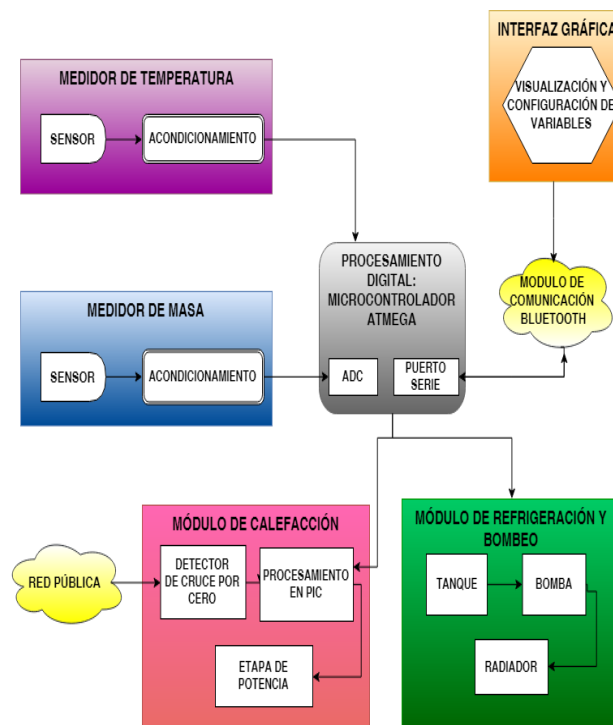


Figura 2. Diagrama general del prototipo

3. DESARROLLO

4.1 Módulo de Instrumentación

La función del módulo de instrumentación es centralizar el flujo de información para optimizar la toma de decisiones en todos los procesos desarrollados en los diversos sistemas que integran el equipo prototipo.

Está compuesto por un micro controlador ATmega328P; el cual es el eje central del módulo al recibir las señales de entrada de los sensores (temperatura y masa) e interfaz de usuario, las procesa y toma las decisiones pre-condicionadas en el código de programación (firmware). Como sensor de temperatura fue implementada una termocupla tipo K, la cual permite controlar y monitorear la temperatura del proceso para garantizar la ebullición correcta de la sustancia; por otro lado, la cuantificación de la masa de la cantidad destilada se realizó mediante una celda de carga de 10Kg, que a su vez se conecta al micro controlador utilizando el conversor HX711.

El módulo de instrumentación cuenta además con un módulo de comunicaciones constituido por el Bluetooth HC-05, que cumple con la función de enviar y recibir cadenas de datos para el procesamiento de los mismos y también cuenta con dos interruptores electromagnéticos (Relé) para activar y desactivar la celda de Peltier y la electrobomba involucradas en el

proceso a monitorear, todo lo descrito se puede observar en el esquema de la figura 3.

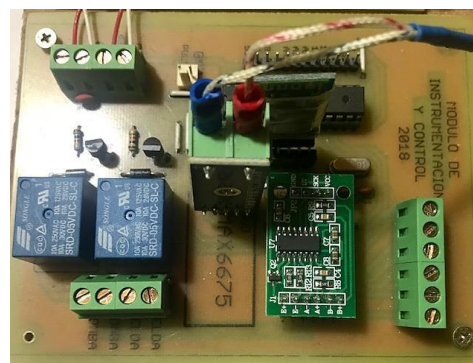


Figura 3. Tarjeta hardware del módulo de instrumentación.

4.2 Módulos de Calefacción, Refrigeración y Bombeo

El módulo de calefacción es el encargado de calentar la sustancia a la cual se le va a aplicar el proceso de destilación. Consta principalmente de una resistencia térmica AC la cual fue adaptada dentro de un cilindro metálico de base esférica, e incorporando una malla de acero inoxidable en la parte superior del cilindro para sostener el balón de destilación como se muestra en la figura 4, esta resistencia es controlada mediante el ángulo de disparo de un TRIAC, para variar su potencia de acuerdo a los requerimientos del sistema.



Figura 4. Módulo de calefacción.

El módulo de refrigeración y bombeo se diseñó con la premisa de evitar el desperdicio de refrigerante (agua) en el desarrollo del proceso de destilación durante las prácticas de laboratorio.

Esto ofrece un cambio significativo comparado con el procedimiento que se sigue actualmente en los laboratorios de química de la universidad popular del cesar, el cual inicia insertando el agua en un extremo del tubo condensador y sale al final por el otro extremo directamente al desagüe. Este método implica altos niveles de desperdicio del refrigerante y la solución desarrollada incorpora un esquema de reutilización del líquido como se aprecia en la figura 5.

La mejora desarrollada en este módulo consta de tres etapas: almacenamiento de refrigerante constituido por un tanque en acrílico transparente de 1300ml, una electrobomba de 12V y un radiador compuesto por un bloque de refrigeración líquida, una celda Peltier y un dissipador de aluminio con ventilador de 80mm.

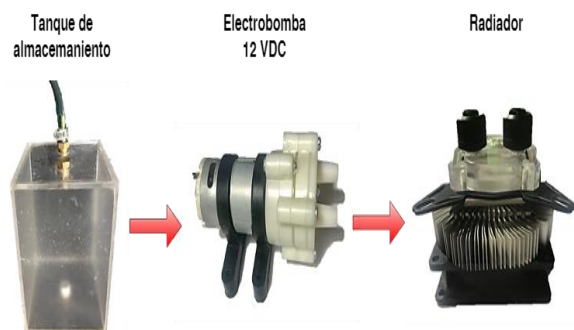


Figura 5. Módulos de refrigeración y bombeo

4.3 Software y firmware

El objetivo principal en el desarrollo del software fue establecer una comunicación directa entre la interfaz gráfica y el micro controlador ATmega328P, el cual actúa como el núcleo central para el control del hardware, permitiendo la recepción y emisión de datos a través del puerto serie del micro controlador.

La plataforma de desarrollo empleada para realizar la programación del micro controlador fue Arduino versión 1.8.5, que incorpora características como un lenguaje de programación basado en Wiring el cual permite programar y generar prototipos con electrónica, y un entorno de desarrollo basado en Processing de fácil manejo y con IDE que proporciona múltiples ejemplos para la elaboración de proyectos [5], además de ser una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto sobre hardware y software flexibles, la cual ofrece opciones como la carga directa al microcontrolador sin necesidad de hacer uso de otro software diferente a este, la disposición de un monitor serie para pruebas de comunicación con el microcontrolador, entre otros.

La interfaz gráfica fue desarrollada en el entorno de desarrollo de software MIT App Inventor, el cual permite la elaboración de aplicaciones

destinadas al sistema operativo Android como se muestra en la figura 6. Aquí el usuario puede visualmente enlazar una serie de bloques para la creación de una aplicación usando un conjunto de herramientas básicas que facilitan el desarrollo de este proceso en menor tiempo comparado con los entornos de programación tradicionales.

Otras de sus ventajas radican en ser una plataforma totalmente gratuita, de gran simplicidad, descargable desde la web, y de facilitar la aplicación de la tecnología inalámbrica Bluetooth para la comunicación con el prototipo.

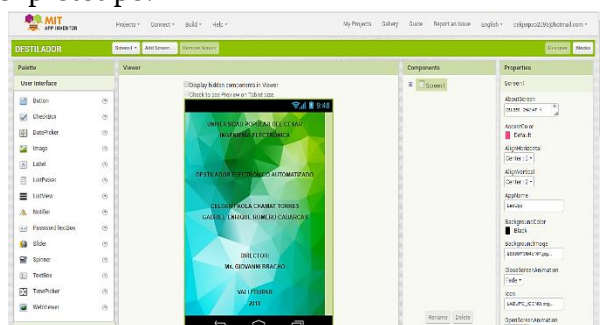


Figura 6. Entorno de desarrollo MIT App Inventor

4. RESULTADOS

Se realizaron las pruebas correspondientes a la validación de los diferentes procesos definidos en las etapas del sistema para corroborar que los módulos implementados en el prototipo cumplieran satisfactoriamente con las características requeridas para la ejecución óptima del proceso de destilación, la disposición

del sistema al interior del prototipo se puede apreciar en la figura 7.

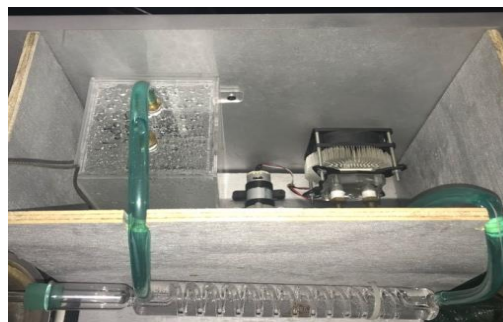


Figura 7. Disposición interna de las etapas del prototipo

Para validar la operación del módulo de calefacción se verificó que el calor que suministra permite que la sustancia a destilar logre alcanzar su punto de ebullición, gracias a la definición del suministro de niveles de voltaje adecuados para alcanzar la temperatura requerida. Una vez alcanzada la temperatura requerida, se verificó que el sistema de calefacción regula la potencia suministrada a la resistencia térmica, mediante las señales de mando de la tarjeta de control AC.

Para someter a prueba los módulos de refrigeración y bombeo, se comprobó que el tanque de 1300ml, no requiere estar lleno completamente, ya que, con la mitad de su volumen, la recirculación del agua funciona correctamente, evitando su desperdicio si se compara con el proceso manual en el cual se

pierden aproximadamente 3 litros de agua por minuto con el suministro totalmente abierto.

En promedio una destilación simple completa requiere de aproximadamente 30 minutos, esto indicaría que en una sesión el desperdicio de agua estaría alrededor de los 90 litros. En la figura 8 se puede apreciar el montaje usado comúnmente para el proceso de destilación manual.



Figura 8. Montaje habitual de la destilación simple

Al contar con todos los módulos acoplados en la arquitectura definitiva del prototipo, se verificó que el proceso fuese continuo, no se presentarían pérdidas de vapor, que los módulos funcionaran sin interrupciones y sobrecargas, y que además se llevara a cabo la condensación para la obtención del líquido destilado realizando pruebas con distintas sustancias, por ejemplo la mezcla de alcohol con agua, y la separación del agua de una bebida gaseosa color naranja cuyos resultados se presentan en las figuras 9 y 10, las cuales se obtuvieron mediante el uso de la interfaz gráfica para generar la visualización de

las variables del proceso, en las figuras 11 y 12 se muestra la interfaz desarrollada.

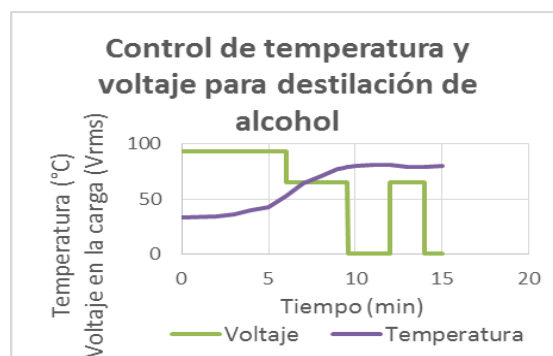


Figura 9. Gráfica de la prueba realizada a la mezcla de alcohol con agua

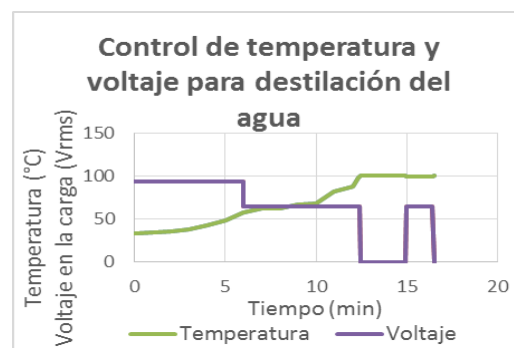


Figura 10. Gráfica de la prueba realizada a la separación del agua de una bebida gaseosa



Figura 11. Visualización en la interfaz gráfica para destilación de alcohol

Finalmente, otro proceso de validación de funcionamiento del prototipo construido fue la medición del consumo de energía producido, para esta tarea se utilizó el medidor multifuncional de potencia UT230B, conectado al cable de alimentación que suministra la energía al equipo, midiendo el voltaje de entrada, la corriente y la potencia total consumida por el equipo durante su funcionamiento.

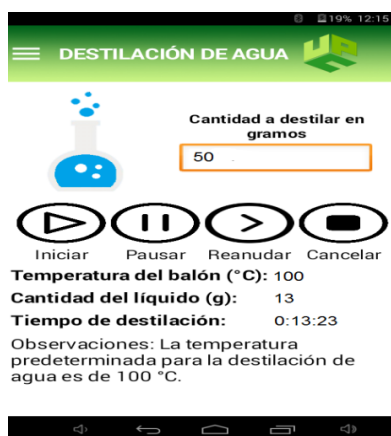


Figura 12. Visualización en la interfaz gráfica para destilación de agua

Al inicializar el prototipo la cantidad de energía consumida en W (watts), fue de 20.3 W, una vez iniciado el proceso de destilación la potencia aumentó hasta un valor pico de 760 W debido a que entran en operación los módulos de calefacción, refrigeración y bombeo. Superados los 55°C, mediante el control del ángulo de disparo en la resistencia térmica del calefactor, se reduce la potencia a 388.6 W, ya que no es

necesario continuar aplicando la máxima potencia para que la mezcla continúe calentándose.

Teniendo en cuenta que la unidad de medida estándar para representar el consumo comercial de energía es el kWh (kilovatio-hora), se verificó que, al transcurrir 20 minutos de destilación, el consumo total fue de 0.174 kWh, esto se aprecia en la figura 13. Como referencia, actualmente en la ciudad de Valledupar la tarifa del kWh corresponde a \$461.28 pesos, es decir, que el prototipo genera un costo promedio por consumo eléctrico de \$80.26 pesos durante una sesión de 20 minutos de destilación.



Figura 13. Consumo total en medidor multifuncional de potencia UT230B.

Después de superada la etapa de prueba y validación se integró el prototipo en su presentación definitiva, las figuras 14 y 15 muestran el resultado final de la construcción del prototipo de destilador electrónico automatizado en sus vistas frontal y posterior.



Figura 14. Destilador electrónico automatizado vista frontal



Figura 15. Destilador electrónico automatizado vista trasera.

Una vez realizadas todas las pruebas correspondientes, se prosiguió a compararlas con los resultados arrojados con el método habitual de la destilación simple y la utilización del destilador eléctrico VILAB 3300 existente en el mercado, obteniendo resultados satisfactorios respecto al acondicionamiento y control de las variables de temperatura y masa, el desperdicio de agua y al bajo consumo de energía del prototipo desarrollado y diseñado.

5. CONCLUSIONES

Como resultado del desarrollo del prototipo de destilador electrónico automatizado para los

laboratorios de ciencias naturales químicas de la Universidad Popular del Cesar sede Valledupar, se diseñaron y construyeron los módulos de calefacción, bombeo y refrigeración con los cuales se consiguió un uso óptimo del agua en el proceso, debido a que se logró evitar significativamente su desperdicio, al momento de llevar a cabo la condensación de los vapores mediante la implementación de un sistema en lazo cerrado de bombeo del líquido refrigerante (agua), el cual cuenta con un tanque de almacenamiento, electrobomba y un bloque de refrigeración adaptado a un celda Peltier, que permite la reutilización del refrigerante, pasando de un desperdicio de refrigerante (agua) de 90 litros en 30 minutos con el proceso habitual, a necesitar un máximo de 1 litro de ella sin importar el tiempo implementado en el proceso. Así mismo se realizó la construcción del módulo calefactor implementando una resistencia eléctrica de uso doméstico y una tarjeta de control de potencia AC.

Se desarrolló un aplicativo de interfaz gráfica en plataforma Android elaborada en MIT App Inventor para la visualización, monitoreo y configuración de las variables del proceso, mediante una pantalla en el equipo, logrando mayor seguridad y confort a los usuarios que deseen manipular el prototipo.

Se logró mediante un control ON/OFF reducir el consumo de energía del equipo, debido a que no es necesario aplicar toda la potencia de la red durante el proceso de destilación, sino que mediante la regulación de la misma se mantiene la temperatura requerida.

Se integraron los diferentes módulos desarrollados en un prototipo con una arquitectura robusta, vistosa, de fácil uso y que requiere mínima manipulación, para facilitar el desarrollo de las experiencias de laboratorio y aportar a la formación de los estudiantes de la Universidad Popular del Cesar, con tecnología a la medida desarrollada al interior de la institución.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se presentó al comité evaluador de proyectos de grado del programa de ingeniería electrónica de la Universidad Popular del Cesar (UPC) para optar el título de Ingeniero Electrónico.

REFERENCIAS

[1] A. R. Romero B, “Manual Prácticas De Laboratorio II De Química Orgánica”, Universidad Industrial de Santander, pp. 1–64, 2012.

[2] H. D. Durst and G. W. Gokel, “Química orgánica experimental”, Editorial Reverté, 2010.

[3] O. Masini, J. Carletto, L. Rodrigo, and V. Rodrigo, “Diseño de un destilador solar modular de agua, de bajo costo para la facultad de ingeniería y ciencias económico sociales,” p. 18, 2012.

[4] P. Gutiérrez Salas, G. Pacheco Pacheco, and N. Ognio Solís, “Obtención de agua destilada para laboratorios de la UCSM utilizando energía solar,” vol. 11, pp. 14–19, 2011.

[5] J. L. Nyhoff, L. R. Nyhoff.” Processing: An Introduction to Programming”, CRC Press, May 2017.

[6] S. J. Navas Herrera, “Control de columnas de destilación”, Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, p. 98, 2014.

[7] P. C. Wankat, “Ingeniería de procesos de separación”, Segunda ed. México, D.F. Editorial Pearson Educación, 2008.

[8] G. Fernández, “Bases: Ingeniería Química”, Academia Minas de Oviedo, p. 189, 2012.

[9] M. H. Rashid, “Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones”, Segunda ed. Editorial Prentice Hall. México D.F., 2018.