

Rediseño de un colector de fracciones para cromatografía líquida

Fabián-López J.¹, Guerrero-Mora G.¹, Aganza-Torres A.¹, Maldonado-Cervantes E.¹, Espinoza-López V.E.¹

¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Estudios Profesionales Zona Media, Carretera Rioverde- San Cirio Km. 4, C.P. 79615, Rioverde, San Luis Potosí, México. A325180@alumnos.uaslp.mx, guillermina.guerrero@uaslp.mx, alejandro.aganza@gmail.com, enrique.maldonado@uaslp.mx, victor.espinoza@uaslp.mx.

Resumen

El colector de fracciones es un componente esencial en los sistemas de cromatografía líquida, ya que permite recolectar automáticamente los compuestos eluidos en función de parámetros definidos por el usuario, como el tiempo o el volumen. En este trabajo se presenta el rediseño estructural, electrónico y de interfaz de un colector de fracciones desarrollado en un entorno académico, con el propósito de mejorar su usabilidad, organización interna y facilidad de mantenimiento. El rediseño incluyó la incorporación de una pantalla táctil TFT para mejorar la interacción con el usuario, el reemplazo del microcontrolador Arduino por una tarjeta ESP32 que integra funciones de control y visualización gráfica, la fabricación de nuevas placas de circuito impreso y el desarrollo de una carcasa compacta impresa en 3D para integrar todos los componentes del sistema. Se realizaron pruebas funcionales bajo distintas configuraciones para validar el comportamiento del sistema, observándose estabilidad durante ciclos de operación extendida y precisión adecuada en los tiempos de llenado. Aunque no se realizaron comparaciones cuantitativas con dispositivos comerciales, la experiencia de uso evidenció mejoras en la interfaz, la ergonomía y el mantenimiento. Este trabajo busca contribuir al desarrollo de herramientas tecnológicas accesibles para aplicaciones educativas y de investigación, y sienta las bases para futuras mejoras orientadas a la validación cuantitativa del desempeño y a la incorporación de funciones avanzadas, como limpieza automatizada o recolección basada en sensores.

Palabras clave—Automatización de laboratorio, Colector de fracciones, Cromatografía líquida, Impresión 3D, Interfaz táctil, Microcontrolador ESP32.

Redesign of a fraction collector for liquid chromatography

Abstract

The fraction collector is a key component in liquid chromatography systems, as it enables the automatic collection of eluted compounds based on user-defined parameters such as time or volume. This work presents the structural, electronic, and interface redesign of a fraction collector developed in an academic setting, aiming to improve its usability, internal organization, and maintainability. The redesign included the integration of a TFT touchscreen to enhance user interaction, the replacement of the Arduino microcontroller with an ESP32 board capable of managing both control and graphical display functions, the fabrication of new printed circuit boards (PCBs), and the development of a compact 3D-printed enclosure to integrate all system components. Functional tests were conducted under different configurations to validate system behavior, showing stable performance during extended operation cycles and adequate accuracy in sample filling times. Although no quantitative comparisons were made with previous versions or commercial devices, user experience during testing revealed notable improvements in interface usability, ergonomics, and ease of maintenance. This work contributes to the development of accessible technological tools for educational and research applications, and establishes a solid foundation for future enhancements aimed at quantitative performance validation and the incorporation of advanced features such as automated cleaning or signal-based fraction collection.

Keywords—3D printing, ESP32 microcontroller, Fraction collector, Laboratory automation, Liquid chromatography, Touchscreen interface.

I. INTRODUCCIÓN

La cromatografía líquida (CL) es una técnica analítica ampliamente utilizada para la separación, identificación y cuantificación de compuestos presentes en mezclas complejas. Su principio se basa en la distribución diferencial de los componentes de una muestra entre una fase móvil líquida y una fase estacionaria sólida [1]. Gracias a su alta resolución y versatilidad, la CL tiene aplicaciones relevantes en química analítica, biotecnología, farmacéutica, industria alimentaria, ciencias ambientales y médicas.

Dentro de un sistema cromatográfico, el colector de fracciones desempeña una función esencial: automatizar la recolección de los compuestos eluidos desde la columna, distribuyéndolos en viales o tubos de ensayo según parámetros definidos por el usuario como tiempo, volumen o número de muestras. Esta automatización mejora la repetibilidad del experimento, reduce el riesgo de errores humanos y libera tiempo del operador. Sin embargo, los colectores comerciales suelen implicar costos elevados y poca flexibilidad para adecuarse a contextos educativos o laboratorios con recursos limitados.

Como alternativa, diversas propuestas de código abierto han buscado reducir costos sin sacrificar funcionalidad. Por ejemplo, el proyecto “Colosseum” desarrollado por Franz et al. [2] documenta un colector automatizado fabricado con impresión 3D, motores paso a paso y electrónica basada en Arduino, con un costo inferior a 300 USD. De manera similar, otros autores han implementado sistemas modulares con controladores A4988, pantallas táctiles y microcontroladores como el ESP32, validando mejoras sustanciales en usabilidad y confiabilidad [3], [4].

Este trabajo presenta el rediseño de un colector de fracciones previamente desarrollado en un contexto académico mexicano [5], cuya versión inicial contaba con una pantalla LCD y botones físicos que dificultaban la interacción. El rediseño incluyó la integración de una pantalla táctil TFT (*Thin-Film Transistor*), la incorporación de un microcontrolador ESP32 —capaz de gestionar la interfaz gráfica y el control de motores—, así como la fabricación de nuevas placas de circuito impreso y una estructura impresa en 3D. A diferencia de desarrollos anteriores, se enfatiza la mejora de la interfaz, la organización del sistema y su potencial de replicabilidad.

Aunque no se realizaron comparaciones cuantitativas con versiones previas ni con sistemas comerciales, se llevaron a cabo pruebas funcionales bajo distintas configuraciones para verificar su estabilidad operativa.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: la sección II describe los materiales y métodos empleados en el rediseño; la sección III presenta los resultados funcionales del sistema; finalmente, la sección V expone las conclusiones generales del trabajo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Interfaz de usuario

Uno de los principales objetivos del rediseño del colector de fracciones fue mejorar la experiencia del usuario. La versión original empleaba una pantalla LCD y cuatro botones físicos sin etiquetas, lo que dificultaba la configuración del sistema y generaba una interacción poco intuitiva.

En esta versión, se integró una pantalla táctil TFT de 4 pulgadas (Fig. 1), con mejor calidad de imagen y respuesta inmediata. Asimismo, se reemplazó la tarjeta Arduino Uno por un microcontrolador ESP32, lo que permitió eliminar el teclado físico y aumentar la capacidad de procesamiento y conectividad del sistema. La interfaz táctil resultante ofrece una interacción más directa y amigable, adecuada para entornos educativos o de laboratorio.

B. Diseño de las placas de circuito impreso (PCBs)

El sistema electrónico fue rediseñado mediante la creación de dos placas de circuito impreso (PCBs): una destinada a la integración de la pantalla y el ESP32, y otra para los controladores A4988 de los motores paso a paso NEMA 17. Estos motores permiten el desplazamiento del cabezal recolector en dos ejes (X, Y), posicionándolo con precisión sobre los tubos de recolección.



Fig. 1. Pantalla TFT de 4 pulgadas utilizada como interfaz principal.

En la Fig. 2 se muestra el diagrama general de conexiones. El sistema incluye dos interruptores de final de carrera que aseguran la correcta referencia inicial del cabezal.

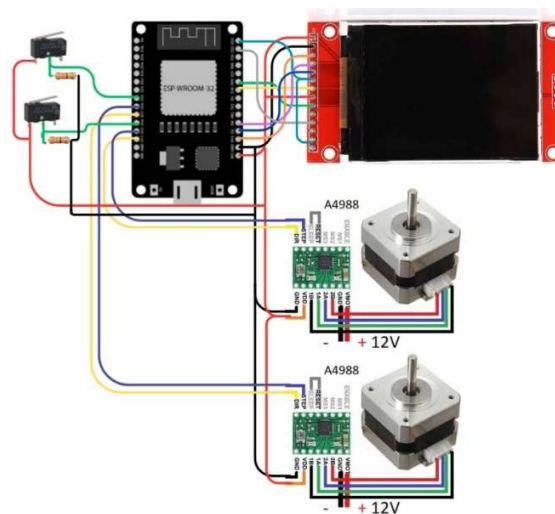


Fig. 2. Diagrama de conexiones eléctricas del sistema.

El diseño de las PCBs se realizó en el entorno *Proteus Design Suite*. Como se observa en la Fig. 3, las placas incorporan puntos de conexión para los sensores de límite, la fuente de alimentación y los drivers, garantizando una organización interna eficiente y un funcionamiento confiable.

C. Estructura del sistema y fuente de alimentación

Para alojar adecuadamente los nuevos componentes electrónicos, se diseñó un gabinete en *Autodesk Fusion 360* que incluye compartimentos específicos para la pantalla, las placas de circuito y el microcontrolador (Fig. 4). El diseño fue posteriormente fabricado mediante impresión 3D utilizando filamento PLA, lo que permitió una construcción precisa, de bajo costo y fácilmente replicable. Este rediseño favorece la ergonomía, mejora la organización interna y facilita el mantenimiento del sistema.

Además, se sustituyó la fuente de alimentación de 12 V y 20 A (240 W) por una unidad más compacta de 12 V y 5 A (60 W), lo que permitió reducir el volumen ocupado en aproximadamente un 60 %, disminuir el peso en 300 g y mantener el consumo eléctrico por debajo de los 45 W durante operación continua. Las pruebas funcionales mostraron

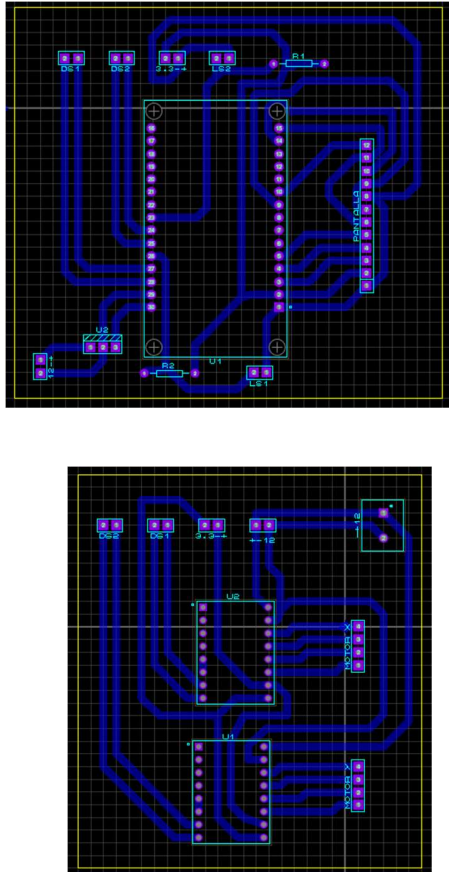


Fig. 3. Vista de las placas de circuito impreso diseñadas.

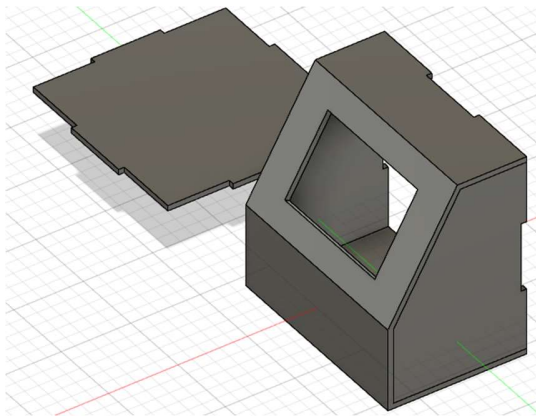


Fig. 4. Diseño de la caja de control en Fusion 360.

una temperatura promedio 8 °C menor en los módulos electrónicos, favoreciendo la estabilidad térmica del sistema.

También se realizó una reorganización completa del cableado interno, lo cual facilitó su ensamblaje y mantenimiento, y redujo el riesgo de fallos por conexiones sueltas o interferencias.

D. Funcionamiento del sistema

Al iniciar el proceso de recolección, la interfaz solicita al usuario el número de tubos a llenar (Fig. 5a), limitado por la

capacidad de la gradilla (6 filas \times 10 columnas, máximo 60 tubos). Posteriormente, el sistema solicita el tiempo de llenado por tubo (Fig. 5b), el cual debe estar entre 10 segundos y 5 minutos. Los valores introducidos son validados antes de iniciar la operación.



a)



b)

Fig. 5.- Interfaz de usuario: a) ingreso del número de tubos, b) configuración del tiempo de llenado por tubo.

Durante el proceso de recolección, la pantalla muestra el número de tubo activo y el tiempo restante para completar el llenado (Fig. 6). Un botón de “Cancelar” permite detener el proceso en cualquier momento, solicitando confirmación para evitar cancelaciones accidentales. En caso de confirmarse la acción, el sistema regresa automáticamente a su estado inicial, posicionando el cabezal en su punto de reposo. El flujo general de operación se representa en la Fig. 7.



Fig. 6. Vista de la pantalla durante el llenado.

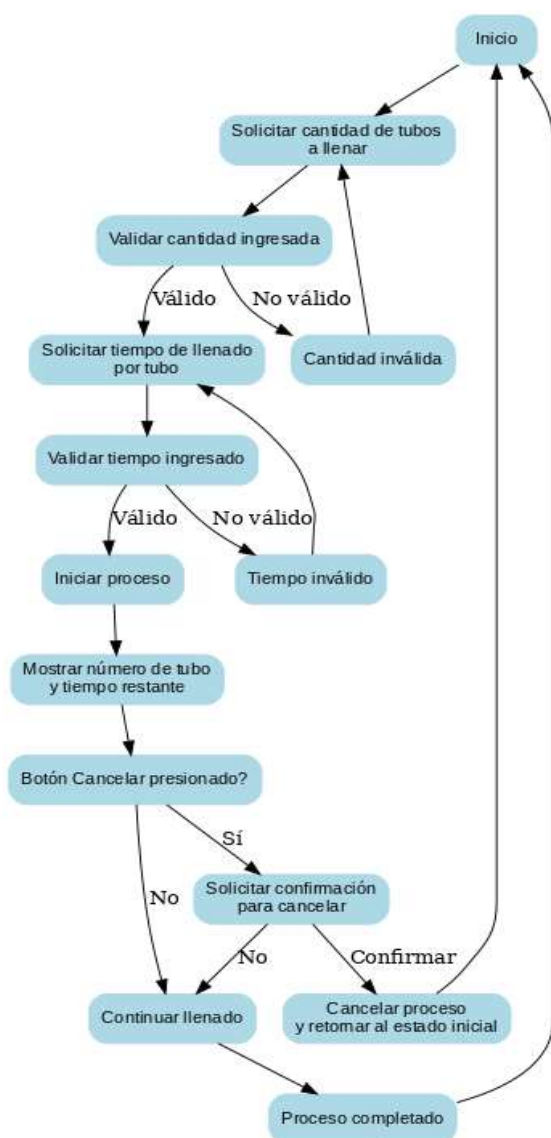


Fig. 7. Diagrama de flujo del proceso de recolección

III. RESULTADOS

Se realizaron pruebas de funcionamiento con tres configuraciones: 10, 30 y 60 tubos, repitiendo cada una en tres ocasiones. Para cada prueba se midió el tiempo de permanencia del cabezal sobre cada tubo (tiempo programado vs. tiempo real), utilizando un cronómetro digital (precisión ± 0.01 s).

Las pruebas también incluyeron la ejecución continua del sistema durante seis horas para evaluar la estabilidad térmica y funcional de los componentes. Se monitoreó la temperatura en drivers y pantalla, y se observó la consistencia del movimiento del cabezal.

Durante todas las pruebas, se observó un comportamiento fluido del sistema, sin bloqueos, reinicios ni errores de software.

La interfaz gráfica mantuvo una respuesta adecuada y el movimiento del cabezal fue consistente. Las funciones de cancelación de operación, reinicio y validación de entradas mostraron una operación confiable.

Si bien estas pruebas confirmaron el funcionamiento estable del sistema, no se realizaron comparaciones directas con la versión anterior. Las observaciones reportadas son de tipo cualitativo y corresponden al desempeño observado durante la operación. El colector se muestra en la Fig. 8.



Fig. 8. Vista general del colector de fracciones ensamblado.

IV. CONCLUSIONES

El presente trabajo documenta el rediseño de un colector de fracciones para cromatografía líquida, con el objetivo de mejorar su usabilidad, organización interna y facilidad de mantenimiento. Las modificaciones incluyeron la incorporación de una interfaz gráfica basada en pantalla táctil TFT, el uso de un microcontrolador ESP32, la fabricación de nuevas placas de circuito impreso y la integración de una estructura más compacta.

Las pruebas funcionales permitieron verificar el comportamiento estable del sistema en distintas configuraciones operativas. La nueva interfaz mejoró significativamente la interacción del usuario, mientras que la reorganización del cableado interno facilitó el acceso a los componentes durante labores de mantenimiento.

Este rediseño contribuye al desarrollo de equipamiento accesible en entornos educativos y de investigación, y sienta las bases para futuras mejoras orientadas a la validación cuantitativa del desempeño y la incorporación de funciones avanzadas, como ciclos de limpieza automatizados o recolección basada en sensores.

Cabe destacar que no se realizó una comparación directa con equipos comerciales; por tanto, las mejoras reportadas en este trabajo se sustentan principalmente en observaciones

cualitativas y en la experiencia de uso obtenida durante las pruebas funcionales, más que en métricas objetivas.

Como trabajo futuro, se propone comparar su desempeño con dispositivos comerciales cuando sea posible; e implementar funciones adicionales, como limpieza automatizada entre fracciones, control remoto del equipo o integración con sensores de flujo o absorbancia.

REFERENCIAS

- [1] “¿Qué es Cromatografía?”, Cientec, 2024. [En línea]. Disponible: <https://cientecinstrumentos.cl/que-es-cromatografia/>
- [2] A. Franz, M. Simmonds, y T. Jenkins, “Colosseum: A low-cost, open-source, automated fraction collector,” *HardwareX*, vol. 9, p. e00182, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00182>.
- [3] Y. Lin et al., “Design of an Arduino-based open-source fraction collector with touchscreen interface,” *HardwareX*, vol. 14, p. e00320, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00320>
- [4] J. Rivera et al., “Colosseum open-source automated fraction collector,” *Lab on the Cheap*, 2024. Disponible en: <https://www.labonthecheap.com/colosseum-open-source-automated-fraction-collector/>
- [5] F. Bravo-Collazo, G. Guerrero-Mora, G. González-Badillo y E. Maldonado-Cervantes, “Diseño y construcción de un colector de fracciones para cromatografía líquida,” **Ingeniería, Investigación y Tecnología**, vol. 25, no. 1, pp. 1–9, 2024. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2024.25.1.007>