



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN 1.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN DISPENSADOR
AUTOMATICO EN EL ORDEN DE LO MICROLITROS PARA
CROMATOGRAFIA LIQUIDA DE ALTO RENDIMIENTO”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

PRESENTA:

ARAMIS DE JESUS TINOCO DIAZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ALBINO MARTINEZ SIBAJA

CODIRECTOR DE TESIS:

DR. RUBÉN POSADA GÓMEZ



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO

Junio 2025



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado

Orizaba, Veracruz, 23/mayo/2025
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. ARAMIS DE JESÚS TINOCO DÍAZ

Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
P R E S E N T E.-

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

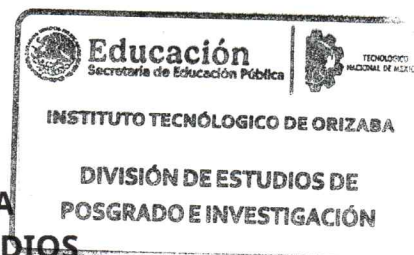
" DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPENSADOR AUTOMÁTICO EN EL ORDEN DE LOS MICROLITROS PARA CROMATOGRFÍA LÍQUIDA DE ALTO RENDIMIENTO".

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

DRA. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
ENCARGADA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OG-13-F06



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Av. Oriente 9 #852 Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320
Orizaba, Veracruz. Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: info@orizaba.tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado

Orizaba, Veracruz, **21/mayo/2025**
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

ARAMIS DE JESÚS TINOCO DÍAZ

La cual lleva el título de:

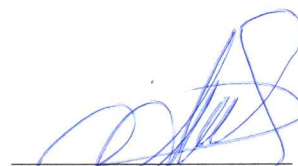
**"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPENSADOR AUTOMÁTICO EN EL ORDEN DE LOS
MICROLITROS PARA CROMATOGRFÍA LÍQUIDA DE ALTO RENDIMIENTO"**

Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DR. ALBINO MARTÍNEZ SIBAJA


FIRMA

SECRETARIO: DR. JOSÉ PASTOR RODRÍGUEZ JARQUIN


FIRMA

VOCAL: DR. JOSÉ DE JESÚS AGUSTÍN FLORES
CUAUTLE


FIRMA

VOCAL SUP.: DR. RUBÉN POSADA GÓMEZ


FIRMA

TA-09-18



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Oriente 9 #852 Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320
Orizaba, Veracruz. Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: info@orizaba.tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx



CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
JUSTIFICACIÓN.....	12
HIPÓTESIS	13
OBJETIVOS	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO	16
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	17
CAPITULO 2. ESTADO DEL ARTE.....	19
CAPITULO 3. ESTADO DEL CAMPO.....	28
CAPITULO 4. MARCO TEORICO	31
CAPITULO 5. METODOLOGÍA	37
CAPITULO 6. LIMITE Y ALCANCES	44
CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
PRODUCTOS ACADÉMICOS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Prototipo de maquina cartesiana.	37
Figura 2. A) Perfil de aluminio V2020 y B) Placas perforadas con ruedas de goma.	38
Figura 3. A) Estructura de perfil de aluminio V2020 y B) actuador lineal.	38
Figura 4. A) Diseño de base de interruptores y B) finales de carrera instalados en la estructura.....	39
Figura 5. A) Guía deslizante de eje Z con motor y B) Vista lateral de guía deslizante.....	39
Figura 6. Piezas impresas para sujeción de jeringa en guía deslizante.....	40
Figura 7. A) Sensor de distancia instalado en la guía deslizante y B) Vista lateral de la pieza.	41
Figura 8. A) Diseño de indexadora y B) Instalación de indexadora en motor.	41
Figura 9. A) Piezas de sujeción de sensor de presión diferencial y B) Instalación de la pieza en el sensor.	42
Figura 10. A) Piezas de sujeción de micro interruptores y B) Instalación de la pieza en el dispositivo.....	42
Figura 11. Jerarquía de maestro esclavo.....	43
Figura 12. Interfaz gráfica de usuario para el manejo del dispositivo.....	43
Figura 13. Balanza Analítica,	46
Figura 14. Gráfico de barras RSD por volumen dispensado.....	48
Figura 15. Histograma de distribución del error relativo.	49
Figura 16. Grafica de dispersión de dosificación manual y automática.	50
Figura 17. Error absoluto medio y error relativo medio de ambos métodos.....	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de dispensación manual vs automática.....	47
Tabla 2. Análisis estadístico de la precisión y repetibilidad.	47

AGRADECIMIENTOS

Agradezco siempre en primer lugar a Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para concluir esta etapa tan importante de mi vida.

A mi madre Samantha, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de esfuerzo y perseverancia, y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos Sayeth, Thaiss y Keyra por su compañía, apoyo y palabras de ánimo que siempre me impulsaron a seguir adelante.

A mi director de tesis Dr. Albino Martínez Sibaja y Codirector de tesis Dr. José Pastor Jarquín, por su guía, paciencia y valiosos consejos a lo largo de este proyecto. Su acompañamiento fue clave para lograr los resultados obtenidos.

Al Departamento de Maestría en Electrónica, por brindarme las herramientas, el conocimiento y el entorno necesario para desarrollarme como profesional.

A mis amigos, por su apoyo moral, por compartir esta etapa conmigo y por ser parte de los buenos y malos momentos del camino.

A mi novia Dahlid, por su cariño, comprensión y constante apoyo emocional. Gracias por creer en mí y estar presente en cada paso de este proceso.

Y en especial, a mi abuelo José Rey Pedro Díaz Rodríguez, que en paz descanse. Su recuerdo, sus enseñanzas y su ejemplo de vida me acompañaron en cada paso. Esta tesis también es para él.

A todos ustedes: gracias. Este logro es tan mío como suyo.

RESUMEN

En esta tesis se presenta el diseño, desarrollo y validación de un sistema de inyección automático de muestras en el rango de 1 a 10 microlitros, enfocado a mejorar la precisión y la repetibilidad en procesos de análisis que requieren la manipulación de volúmenes pequeños. El dispositivo automatizado se construyó integrando un sistema de control electrónico, una jeringa de alta precisión y un actuador lineal, coordinados mediante una interfaz programable. Para validar su desempeño, se realizaron comparativas experimentales entre la dispensación automática y la dosificación manual tradicional, utilizando una balanza analítica de alta resolución basada en tecnología de sensor de diapasón.

Se llevaron a cabo más de 1500 mediciones de volumen objetivo, evaluando indicadores clave como la media, desviación estándar, porcentaje de desviación estándar relativa (%RSD), error absoluto medio y error relativo medio. Los resultados demostraron que el sistema automático presenta un error absoluto medio de 0.03 μL y un error relativo medio de 0.58 %, cifras significativamente inferiores a las obtenidas en el método manual, que presentó valores de 0.13 μL y 2.43 %, respectivamente. Además, el dispensador automático mostró una alta repetibilidad, con un %RSD promedio inferior al 0.3 %, frente al 2.5 % observado en la dosificación manual.

Mediante análisis estadísticos, gráficos de dispersión, histogramas y comparativas de error, se comprobó que el sistema automatizado logra una dosificación más precisa y consistente, reduciendo significativamente la variabilidad asociada al factor humano. Estos resultados validan la eficacia del dispositivo como una herramienta confiable para aplicaciones que exigen un control riguroso de volúmenes líquidos en el rango de microlitros, contribuyendo al avance en la automatización de procesos analíticos y de laboratorio.

Palabras Clave: Dispensador automático de líquidos, Precisión y repetibilidad, Volúmenes microlitros, Automatización de laboratorio, Balanza analítica de alta resolución, Análisis estadístico de desempeño, Control de volúmenes pequeños

ABSTRACT

This thesis presents the design, development, and validation of an automatic sample injection system for volumes ranging from 1 to 10 microliters, aimed at improving precision and repeatability in analytical processes that require the handling of small liquid volumes. The automated device was built by integrating an electronic control system, a high-precision syringe, and a linear actuator, all coordinated through a programmable interface. To validate its performance, experimental comparisons were conducted between automatic dispensing and traditional manual dosing, using a high-resolution analytical balance based on tuning fork sensor technology.

More than 1,500 volume measurements were performed, evaluating key indicators such as mean, standard deviation, relative standard deviation (%RSD), mean absolute error, and mean relative error. Results showed that the automatic system achieved a mean absolute error of 0.03 μL and a mean relative error of 0.58 %, significantly lower than the manual method, which presented values of 0.13 μL and 2.43 %, respectively. Additionally, the automatic dispenser demonstrated high repeatability, with an average %RSD below 0.3 %, compared to 2.5 % in manual dispensing.

Through statistical analyses, scatter plots, histograms, and error comparisons, it was confirmed that the automated system achieves more precise and consistent dispensing, significantly reducing variability associated with human factors. These results validate the device's effectiveness as a reliable tool for applications that demand strict control of liquid volumes in the microliter range, contributing to the advancement of automation in analytical and laboratory processes.

Keywords: Automatic sample injection, microliter dispensing, precision and repeatability, liquid handling, analytical processes, automation, volumetric accuracy, laboratory instrumentation.

INTRODUCCIÓN

En el transcurso de los años, los ámbitos de automatización y control han evolucionado rápidamente en cuanto a tecnología, permitiendo la aplicación de herramientas de supervisión y control en múltiples campos de investigación. Entre estos, la química analítica se ha visto beneficiada en gran medida. Estos avances han contribuido a mejorar y optimizar los procedimientos dentro de esta disciplina, permitiendo obtener resultados más precisos y eficientes.

Dentro de la química analítica se encuentra la cromatografía líquida de alta resolución o HPLC (High performance liquid chromatography, por sus siglas en inglés), uno de los métodos más comunes en los laboratorios, habitualmente empleado para el análisis de sustancias. Este método se caracteriza por emplear un proceso de separación de materiales de una muestra (analito), identificando su composición y cuantificando el porcentaje de cada material presente en la muestra (Agilent Technologies, 2016).

A pesar de su popularidad en los laboratorios, el procedimiento no está exento de consideraciones y errores. La manipulación de un equipo de HPLC requiere cumplir con un conjunto de características y especificaciones a lo largo de todo el proceso para garantizar resultados precisos. La precisión en la cromatografía líquida es crucial, así como la capacidad de replicar los resultados de manera consistente según las necesidades del laboratorio.

La influencia de tecnologías de automatización en los procesos de HPLC presenta una ventaja sustancial en términos de velocidad y eficiencia comparado con métodos convencionales, ofreciendo mejoras en cada etapa del proceso. El principal atractivo de estas nuevas tecnologías radica en su alta precisión y eficiencia en las pruebas. Automatizar procesos que tradicionalmente dependían de intervención humana reduce significativamente los márgenes de error y permite la repetibilidad de las pruebas según las necesidades.

En esta tesis se presenta una metodología enfocada en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema automático capaz de dispensar muestras para el análisis de HPLC. El objetivo principal del trabajo es el desarrollo de un dispensador de muestras automático en el rango de los microlitros, para el cual, se realizará un estudio de tecnologías de automatización

aplicados a pruebas de HPLC, proponiendo una optimización en la manipulación de las muestras, con el fin de mejorar la precisión y eficiencia de los resultados finales en pruebas de HPLC.

A lo largo del documento, se detallan los fundamentos teóricos de la HPLC, así como los aspectos metodológicos y experimentales relacionados con el diseño e implementación de un dispensador automático en el rango de microlitros. Se presentarán los resultados obtenidos, lo que permitirá discutir su relevancia, aplicaciones y limitaciones del producto final.

La investigación realizada representa un avance significativo en los procesos de inyección automática aplicado a la HPLC, explorando nuevas perspectivas en el empleo de soluciones modernas dentro de la química analítica. Se espera que los resultados y conclusiones presentados en este estudio contribuyan al futuro desarrollo de nuevos sistemas de inyección automática.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) es una técnica fundamental en la industria e investigación, debido a su capacidad de separar componentes dentro de una mezcla. Este proceso emplea técnicas de detección, análisis y cuantificación. Por estas razones, la HPLC es una de las técnicas más versátiles en términos de aplicación, en donde destaca en las áreas de bioquímica, química, farmacia, toxicología y química analítica (Ruiz Benitez, 2020).

La muestra a analizar debe cumplir con estrictas características y someterse a estandarizaciones que aseguren una buena interacción entre el analito (muestra) y las fases estacionarias para el fenómeno de separación. La repetibilidad de las pruebas de HPLC demanda un volumen adecuado de la muestra para realizar pruebas consecutivas (Govindaraghavan, 2014) (Iriarte Perdigón, 2022).

Sumado a lo anterior, la manipulación de muestras es un punto crucial en el proceso analítico. La calidad de la inyección está directamente relacionada con el volumen adecuado de muestra. Un análisis de HPLC debe replicar las pruebas utilizando el mismo volumen de muestra para garantizar resultados consistentes. Una inyección por debajo del volumen requerido puede provocar errores como el exceso de presión, la despresurización del sistema por burbujas de aire, fugas y tiempos de retención indebidos en la válvula (Iriarte Perdigón, 2022).

Al día de hoy, en muchos laboratorios de investigación el proceso de inyección aún se realiza de forma manual. La manipulación de la muestra depende del “pulso” del operador, además la supervisión del volumen de muestra para pruebas es limitada, sumando un nuevo margen de error humano además de los riesgos ya existentes dentro del proceso de inyección.

En primera instancia, la solución más viable parece ser la adquisición de equipos comerciales de inyección automática; no obstante, la mayoría de estos equipos carecen de una supervisión del volumen de muestra, así como la capacidad de estimar el número de inyecciones disponibles para pruebas consecutivas.

Debido a la complejidad de operación y a sus altos costos, la adquisición de equipos sofisticados de inyección representa una inversión sustancial para los laboratorios de investigación, equiparable al costo de un equipo de pruebas de HPLC. Sin mencionar costos por servicios de actualización y calibración por parte del fabricante, debido a la inversión que representa el implementar tecnologías de inyección automática, se sigue realizando la inyección de forma manual, pese a los márgenes de error existentes.

Por lo anterior, en este proyecto se abordó la problemática de implementar un dispensador automático accesible, de fácil operación y con bajos costos de mantenimiento, para laboratorios de investigación de instituciones públicas, los cuales frecuentemente carecen de fondos suficientes para adquirir dispositivos de alto nivel, lo que los obliga a emplear métodos convencionales, resultando en retrasos significativos en las jornadas de pruebas.

JUSTIFICACIÓN

La importancia de los análisis de HPLC dentro de la industria es innegable, su alto nivel de aplicación en campos de investigación lo ha convertido en uno de los métodos más empleados dentro de los laboratorios. Sin embargo, emplear los métodos convencionales de inyección manual presentan ciertas limitaciones, como la variabilidad en resultados, causada por errores humanos en el pulso y la supervisión. Estas deficiencias afectan notablemente la precisión y repetibilidad de los análisis de HPLC, considerando que un solo análisis puede llevar de 20 minutos a una hora completa por muestra. Errores en la manipulación de las muestras no solo simboliza una pérdida de tiempo, sino también de recursos, remarcando la necesidad de métodos más confiables y automatizados.

La implementación de un sistema automático de manejo de muestras se presenta como una solución viable para estos problemas. La implementación de sistemas automatizados puede mejorar significativamente la precisión y eficiencia del proceso de inyección, reduciendo el margen de error y permitiendo la repetibilidad de las pruebas. Además, la supervisión del volumen de muestra y la capacidad de estimar el número de posibles inyecciones representan un avance crucial en la optimización de estas variables dentro del proceso de inyección.

Los beneficios de implementar tecnologías de inyección automática son numerosos. Además de incrementar la precisión y reducir los márgenes de error, también se optimizan los tiempos de operación de las pruebas, disminuyendo los costos operativos a largo plazo. Sin embargo, los inyectoros automáticos comerciales representan una inversión inicial elevada; además, los gastos de mantenimiento y calibración de estos equipos sofisticados constituyen una barrera significativa para muchos laboratorios de investigación, especialmente aquellos con presupuestos limitados.

Esta investigación busca desarrollar un sistema automático dispensador de muestras asequible, de fácil operación y con bajos costos de mantenimiento. Al abordar estas necesidades, se espera contribuir e impulsar el avance tecnológico en el campo de la química analítica, ofreciendo una solución práctica y efectiva que pueda ser adoptada en diversos laboratorios.

HIPÓTESIS

Es posible diseñar e implementar un sistema automático dispensador de muestras en el orden de los microlitros, enfocado a la correcta manipulación e inyección de sustancias, empleando el monitoreo de volumen de muestras. Este sistema permitirá el muestreo de sustancias con alta precisión y repetibilidad, reduciendo errores en los parámetros de inyección y aumentando la eficiencia del proceso dentro de las pruebas de HPLC.

OBJETIVOS

Diseñar y fabricar un sistema automático dispensador de muestras para equipos de HPLC, enfocado en la manipulación de muestras y el monitoreo de volumen disponible en el recipiente de muestras. Este sistema busca mejorar la precisión, repetibilidad y eficiencia del proceso de inyección de muestras, para obtener resultados de análisis precisos, reducir errores producidos dentro de la inyección de muestras y aumentar la productividad del sistema.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseño del Sistema:

- Diseñar un sistema dispensador de muestras contemplando las normas y estándares requeridos dentro del proceso de inyección de muestras en HPLC.
- Integrar sensores en el recipiente de muestras para el monitoreo de volumen de las muestras, asegurando un control de volumen en cada inyección.

2. Implementación:

- Construcción de un prototipo del sistema dispensador empleando tecnologías de automatización y control en los procesos que requieren de intervención humana, enfatizando la correcta manipulación de diferentes tipos de sustancias.
- Desarrollar una interfaz hombre-maquina (HMI) enfocado al control del sistema, notificación de estados de los procesos y supervisión de variables, contemplando una interfaz de fácil operación dentro de los laboratorios.

3. Pruebas experimentales:

- Realizar pruebas experimentales del sistema dispensador en un entorno de laboratorio, evaluando la calidad de las muestras.
- Evaluar la precisión y repetibilidad del sistema en comparación con métodos manuales y otros sistemas automáticos existentes, incluyendo la medición de

volumen disponible, el desempeño de los sensores y tiempo de respuesta del sistema.

4. Optimización del Sistema:

- Identificar y corregir posibles errores o inconsistencias en el funcionamiento del sistema, analizando su impacto en la calidad de resultados y considerando optimización del tiempo y recursos.
- Realizar ajustes para optimizar la eficiencia y reducir los márgenes de error en las muestras.

5. Documentación y Presentación:

- Documentar todo el proceso de diseño, fabricación, implementación y pruebas del sistema dispensador de muestras.
- Presentar los hallazgos y conclusiones del estudio, destacando los beneficios, aplicaciones y potencial de mejora del sistema en la industria y la investigación.

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO

La presente investigación introduce un avance sustancial en el campo de la química analítica, específicamente en el campo de la HPLC, al proponer el desarrollo e implementación de un dispensador automático de muestras que incorpora tecnologías de supervisión en el volumen de muestra disponible. Este dispositivo, al igual que los sistemas de inyección comerciales que manipulan sustancias con precisión, también implementa una interfaz intuitiva con la capacidad de estimar el número de muestras restantes que pueden ser dispensadas en función del volumen actual del recipiente.

La estimación de muestras disponibles y la supervisión en tiempo real del volumen representan una mejora considerable en la precisión, eficiencia y repetibilidad del proceso de manipulación de muestras en la HPLC. Esto reduce notablemente los márgenes de error y, al mismo tiempo, optimiza los recursos en los laboratorios de investigación. La implementación de este sistema automatizado ofrece una nueva perspectiva en la optimización de procesos analíticos en entornos de investigación con recursos limitados, proporcionando una herramienta aplicable a diversas necesidades experimentales.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

La cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC por sus siglas en inglés), es uno de los métodos de separación más populares en el área de química analítica. Sin embargo, desde su origen, ha sido sometida a constantes mejoras a lo largo de los años. Algunas de estas mejoras han sido sustanciales, incluso en los métodos modernos. La cromatografía fue concebida en 1903 por el denominado “padre de la cromatografía” Mijaíl Tsvet, quien logro separar pigmentos vegetales haciendo fluir una mezcla de extracto de hojas, éter de petróleo y etanol a través de una columna de vidrio repleta de carbonato de calcio molido (Iriarte Perdigón, 2022) (Hargittai, 2021).

En 1906, cuando el botánico Mijaíl Tsvet publico dos artículos en una revista alemana, que se utilizó oficialmente el término “Cromatografía”, derivado del griego *chroma* (color) y *graphein* (escribir), en referencia al primer experimento con pigmentos vegetales. Tsvet no solo acuñó el término, sino que también implementó el uso de columnas para la separación de mezclas (Isabel, 2023).

La cromatografía evolucionó con el paso de los años, y en 1943, los químicos británicos Martin A.J.P y Richard Synge desarrollaron la cromatografía de gases. En su artículo titulado “*A new form of chromatography employing two liquid phases*”, describieron el proceso de separación de acetaminos utilizando agua en columnas de sílice y cloroformo inmiscible como fase móvil (Iriarte Perdigón, 2022) (Isabel, 2023).

En 1966, Paul Hamilton introdujo el uso de una bomba en el método de separación, logrando impulsar las mezclas de disolventes mientras se aplicaban interacciones de intercambio iónico, logrando un fenómeno de separación mucho más rápido en comparación con los métodos convencionales de años anteriores (Isabel, 2023) (Majors, 2018).

Hasta el año 1967, la compañía Waters Associates, especializada en herramientas analíticas, lanzó a la venta el primer sistema comercial de HPLC, el “ALC100 HPLC”. El equipo estaba equipado con una bomba de 500 psi y detector UV de 254 nm, se convirtió en un éxito comercial al ser utilizado para la separación de isómeros intermediarios en la síntesis de la vitamina B12 (Isabel, 2023) (Ron Majors, 2020).

Un año después del lanzamiento del primer equipo comercial, la compañía Valco introdujo el sistema de inyección de 6 puertos, diseñando una válvula rotativa. Esta es la primera válvula de inyección con carga en bucle, evitando interrupciones en el flujo móvil, marcando un hito en la reducción de técnicas manuales de inyección, aumentando repetibilidad y automatización por parte del equipo de HPL (Isabel, 2023) (Ron Majors, 2020).

En 1969, la empresa Autolab reemplazo los planímetros y registradores mecánicos convencionales por el integrador de computación “Autolab System IV”, mejorando sustancialmente los registros de datos. El integrador permitió la detección de picos tangentes, correcciones en la línea base y picos normalizados, resultando una mayor cantidad de información en cada lectura y la capacidad de realizar pruebas a mayores velocidades (Isabel, 2023) (Ron Majors, 2020).

En 1974 se logró automatizar el proceso de inyección por mediate el primer dispositivo de muestreo automático, diseñado por la empresa Micromeritics. Este dispositivo tenía capacidad de operar con volúmenes preseleccionados sin necesidad de jeringas adicionales, favoreciendo el rendimiento y cuantificación de las muestras, siendo el primer paso a futuros productos automáticos enfocados a la HPLC (Isabel, 2023) (Ron Majors, 2020).

En fechas más recientes, destaca el año 2004, cuando la empresa Whatman Inc. introdujo filtros UniPrep. Estos filtros representaron un avance significativo al ofrecer un método más rápido y sencillo para eliminar partículas en las muestras a analizar, empleando tecnologías sin jeringas. Lo que significó un marco de mejora en la producción de pruebas, evitando consumibles de preparación y pre tratamiento de muestras (Buie, 2010).

Finalmente, en el año 2009, Agilent presento un moderno sistema de inyección de muestras 1290 Infinity LC System, diseñado para operar a altas velocidades y con una robustez adecuada para entornos industriales. Este sistema innovó al ampliar de la capacidad de muestras, permitiendo la manipulación de hasta 648 viales de muestras refrigerados de 2ml, lo que supuso un avance significativo en la eficiencia y capacidad de procesamiento (Buie, 2010).

CAPITULO 2. ESTADO DEL ARTE

El desarrollo de sistemas automáticos para la manipulación e inyección de sustancias ha sido ampliamente estudiado a lo largo de los años, con enfoques que van desde la optimización de los componentes del equipo de dispensación hasta la incorporación de sensores que permitan alcanzar un nivel de automatización acorde con los estándares específicos de cada laboratorio. No obstante, aún existen desafíos en la manipulación de líquidos, especialmente en volúmenes inferiores a los microlitros. Entre los principales problemas sin una solución definitiva se encuentran la supervisión precisa del volumen de muestra y la estimación de la cantidad de muestras disponibles sin comprometer su calidad, aspectos clave para su aplicación en laboratorios de química analítica. En este contexto, diversas investigaciones han abordado soluciones parciales mediante distintos enfoques, cuyos avances e implicaciones en los dispensadores automáticos de muestras se presentan a continuación.

El primer objetivo de esta investigación es la familiarización con los dispositivos existentes para la manipulación de líquidos en bajos volúmenes. Una introducción relevante sobre el tema lo propone el autor Michal Alexovič, en 2018 presentó una recopilación y análisis de los tres modelos robóticos más utilizados en laboratorios de química analítica. A través de una comparativa, se evalúan las ventajas y limitaciones de cada opción disponible (Michal Alexovič, 2018).

El primer sistema mencionado es el robot de cilindros, que generalmente está equipado con una micropipeta de boquillas desechables. Este dispositivo se encuentra montado sobre una base circular, lo que le permite desplazarse entre diferentes estaciones dentro del laboratorio. Sin embargo, aún requiere cierta intervención humana para el cambio de pocillos o boquillas de la pipeta (Michal Alexovič, 2018).

El segundo sistema es el robot antropomorfo, el cual emplea tecnologías de comunicación mediante un microcontrolador, lo que le permite alcanzar un alto nivel de automatización en operaciones complejas. No obstante, algunas tareas en química analítica aún requieren intervención humana (Michal Alexovič, 2018).

Por último, el robot cartesiano se presenta como una opción más flexible, ya que su diseño permite el acople de componentes adaptados a las necesidades específicas de cada prueba. Su desplazamiento optimizado sobre la mesa de trabajo reduce significativamente el esfuerzo de calibración y coordinación en comparación con tecnologías que operan con más de cinco ejes de movimiento. Sin embargo, este sistema demanda un alto nivel de automatización para minimizar la intervención humana, además de integrar tecnologías basadas en microcontroladores para la supervisión de cada proceso (Michal Alexovič, 2018).

Después de la familiarización con los dispositivos básicos para la manipulación de sustancias, es fundamental estudiar los distintos métodos de dispensación existentes. En este sentido, el autor Nongyue He, en 2016 analizó diversas técnicas de manipulación de líquidos sin contacto (Nongyue He T. L., 2016).

Menciona que, uno de los métodos más utilizados en laboratorios es la dispensación por desplazamiento de aire, debido a su compatibilidad con las micropipetas convencionales. Este método se basa en el movimiento de un émbolo interno que extrae el líquido del recipiente, generando una diferencia de presión en la cámara del émbolo. A través de la relación volumen-presión, es posible realizar una dosificación precisa, además de facilitar su integración con tecnologías de automatización (Nongyue He T. L., 2016).

Por otro lado, la dispensación mediante una jeringa-solenoide emplea una bomba de jeringa para generar una presión estable en estado estacionario. Este método permite la dosificación en gotas con volúmenes en el rango de los submicrolitros (Nongyue He T. L., 2016).

La dispensación por tiempo-presión utiliza presión positiva de aire en una jeringa para empujar el líquido a través de un orificio. Su principio de funcionamiento se basa en la relación entre el tiempo de aplicación de la presión y el volumen a administrar, permitiendo un control preciso de la cantidad dispensada (Nongyue He T. L., 2016).

Otro enfoque es la dispensación mediante tecnología piezoeléctrica, la cual opera con una presión constante, ofreciendo un control preciso del flujo de líquido (Nongyue He T. L., 2016).

Finalmente, la dispensación ultrasónica se presenta como una solución innovadora para la manipulación de volúmenes en el rango de los picolitros. Su funcionamiento se basa en un

transductor acústico que convierte la energía electromagnética de radiofrecuencia en vibraciones mecánicas, generando la fuerza necesaria para dispensar el líquido (Nongyue He T. L., 2016).

A partir de estos estudios, es evidente que la manipulación de líquidos en volúmenes pequeños sigue siendo un desafío clave en la automatización de laboratorios de química analítica. Para abordar esta problemática, diversas investigaciones han explorado la modificación de pipetas comerciales como base para el desarrollo de equipos automatizados, con el objetivo de optimizar la precisión y repetibilidad en la dosificación de sustancias mediante la incorporación de interfaces de usuario.

Un ejemplo de ello lo propone Barthels, en 2020 con una solución sencilla para la dispensación de líquidos. En este trabajo, una pipeta manual es modificada al reemplazar su pistón de desplazamiento por un motor a pasos Nema 11, acoplado mediante piezas fabricadas en 3D. Con esta adaptación, se logra dispensar volúmenes inferiores a 10 microlitros, aunque aún requiere cierta intervención humana (Fabian Barthels, 2020).

Por otro lado, una propuesta con un mayor nivel de autonomía describió el uso de un robot cartesiano acoplado a una estación dispensadora de pipeteo fijo TOMTec para la manipulación de líquidos en la preparación de muestras para espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Jichun Li, 2016).

Otro enfoque basado en sistemas cartesianos presentó a OTTO, un robot que integra una micropipeta montada en un sistema cartesiano de tres ejes. Esta configuración, combinada con un actuador lineal, permite realizar múltiples administraciones consecutivas de sustancias para pruebas de reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa (qPCR) (David C. Florian, 2020)

Asimismo, E. Enoch A. W. Councill, en 2020 describió un dispensador diseñado para operar en el rango de los microlitros, destinado a aplicaciones en cultivo celular y bioquímica de tejidos. En este caso, se modifica una pipeta OpenTrons OT-1, sustituyendo sus boquillas desechables por una jeringa presurizada (E. Enoch A. W. Councill, 2020).

El autor Christian Calderon, en 2014 propuso una solución similar, donde se desarrolla un prototipo dispensador automatizado aplicado al cultivo en microplacas, con un rango de operación de hasta 60 microlitros (A., 2014).

Finalmente, Darshan C. Patel, en 2018 presentó un programa automatizado microfluídico (MAP) compuesto por un sistema de HPLC y un dispensador de líquidos FloProSampler. Este sistema es capaz de extraer líquidos, añadir reactivos, mezclar e incubar muestras con control de temperatura, así como enviar muestras a la válvula de inyección del equipo de HPLC, almacenarlas y dividir las para distintos análisis (Darshan C. Patel a, 2018).

Los sistemas mencionados cuentan con una interfaz de operación que facilita el control de los procesos de dispensación. No obstante, una limitación común es la ausencia de un mecanismo de supervisión del volumen de muestra disponible, lo que impide un monitoreo preciso durante las pruebas y limita la capacidad de estimar el número de inyecciones restantes. Esta carencia representa un área de oportunidad para optimizar la precisión y eficiencia en la manipulación de líquidos.

Por esta razón, diversas investigaciones han explorado la integración de brazos robóticos en combinación con tecnologías de pipeteo y manipulación de líquidos, con el objetivo de incrementar la autonomía de los sistemas y minimizar la intervención humana en los procesos analíticos. A continuación, se presentan dispositivos que implementan esta estrategia, destacando sus ventajas y áreas de oportunidad en la automatización de laboratorios de química analítica.

Yanqi Wu, en 2016 describió un sistema basado en un brazo robótico de tres ejes, que opera una máquina dispensadora de líquidos mediante tecnología de pipeteo multicanal de ocho canales por desplazamiento de aire (PDA) (Yanqi Wu H. C., 2016).

A su vez, el mismo autor Yanqi Wu H. C., en 2016, propuso una mesa de trabajo automatizada equipada con bastidores, almacenamiento de boquillas, un agitador, un refrigerador y un termociclador. Este sistema emplea un brazo robótico y una micropipeta de ocho vías para la extracción de ácidos nucleicos mediante nanopartículas magnéticas (Yanqi Wu H. C., 2016).

Por su parte, Xianghua Chu, en 2017 presentó una plataforma robótica basada en el robot industrial de doble brazo CSDAQ10F, el cual se encarga de la extracción y administración de muestras. Este sistema destaca por aprovechar los instrumentos manuales ya existentes en el laboratorio, permitiendo su operación mediante los brazos robóticos (Xianghua Chu, 2017).

Finalmente, Heidi Fleischer, en 2018 propuso un sistema de manipulación de líquidos empleando el robot de doble brazo CSDA10F, al que se han acoplado dos pipetas electrónicas montadas en una estructura diseñada para organizar las muestras de manera coordinada (Heidi Fleischer, 2018).

Si bien la integración de brazos robóticos ha permitido mejorar la autonomía y precisión en la manipulación de líquidos, la eficiencia de estos sistemas también depende de los métodos empleados para la toma, transferencia y dispensación de muestras. Diversos enfoques han sido desarrollados para optimizar estos procesos, desde el uso de sistemas microfluídicas hasta tecnologías avanzadas de separación y mezclado. A continuación, se presentan diferentes métodos de manipulación de muestras que han sido implementados en dispositivos automatizados, destacando sus principios de funcionamiento y aplicaciones en laboratorios de química analítica.

Michael Groschl, en 2017 presentó un sistema de manipulación de líquidos basado en una plataforma robótica e interfaz denominada SPIKE 1.0. Este sistema reduce significativamente el desperdicio de sustancias durante las calibraciones y análisis químicos de control de calidad (QCs) y permite la preparación de mezclas de hasta tres sustancias. Además, incorpora una báscula para verificar la dosificación adecuada del volumen; sin embargo, el usuario debe pesar manualmente los recipientes (Michael Groschl, 2017).

Por otro lado, Amin Kazemzadeh, en el año 2019 describió un micro dispensador diseñado para el almacenamiento y liberación controlada de líquidos, con aplicaciones en la separación de plasma sanguíneo para pruebas de laboratorio. No obstante, el dispositivo carece de válvulas y bombas externas, por lo que su funcionamiento es completamente manual (Amin Kazemzadeh, 2019).

Además del uso de micropipetas adaptadas, algunas investigaciones han explorado dispositivos basados en jeringas presurizadas, una tecnología ampliamente disponible en laboratorios. Mendez, en el año 2016 documentó el diseño y desarrollo de un dispensador de muestras en el rango de microlitros. El sistema emplea un mecanismo tipo guillotina, dividido en tres niveles de operación. En el primero se encuentra el mecanismo de inyección, compuesto por una jeringa Hamilton y un motor DC que acciona el émbolo de forma remota mediante una interfaz de usuario. El segundo nivel corresponde a la sección indexadora, donde el sistema extrae las muestras a dispensar. Finalmente, en el tercer nivel, se realizan pruebas con sensores que detectan la administración de las muestras (Mendez, 2016).

Un enfoque similar describe John P. Efromson, en 2021 donde presentó el sistema de muestreo BioSamplr, diseñado para aplicaciones en biorreactores. Este dispositivo, basado en un sistema cartesiano, permite la extracción y administración de muestras superiores a 1 mililitro. Su funcionamiento se basa en una bomba peristáltica, válvulas de pellizco y un sistema de refrigeración para el almacenamiento de muestras (John P. Efromson, 2021).

Por otra parte, Andres Faiña, en 2020 propuso la comercialización de un robot de código abierto para la manipulación de sustancias en distintos volúmenes mediante módulos de jeringa intercambiables (Andres Faiña, 2020).

Mientras tanto, Nongyue He T. L., en 2016 presentó una plataforma automatizada para el tratamiento de muestras en análisis de HPLC. Este sistema incorpora una micro jeringa controlada por un motor a pasos y un bloque funcional que permite la agitación e hibridación de muestras. Su diseño destaca por la capacidad de extraer y dispensar muestras directamente en una válvula de inyección de bucle de un sistema HPLC, lo que facilita la obtención de resultados precisos y repetibles (Nongyue He T. L., 2016).

A pesar de los avances que representan estos dispositivos, sus interfaces y controladores no cuentan con una visualización gráfica del volumen de muestra restante ni con una estimación del número de inyecciones disponibles. Esta limitación podría afectar la planificación de futuras pruebas y subraya la necesidad de desarrollar sistemas que integren mecanismos de supervisión en tiempo real.

Algunos laboratorios han desarrollado métodos alternativos de manipulación de muestras, distintos a los mencionados anteriormente. Un ejemplo de ello lo propone el autor Michael Walther, en el año 2015 describió el diseño de una cámara de medición para sensores tipo cantilever en medios líquidos, integrada con un sistema automatizado de manejo de muestras. El inyector del sistema puede operar tanto en modo de flujo detenido como en flujo continuo, permitiendo la dosificación de volúmenes inferiores a los microlitros. La sección de inyección del dispositivo está compuesta por una válvula solenoide, cuyo volumen de dosificación es controlado mediante la presión aplicada y el tiempo de apertura de la salida (Michael Walther, 2015).

Por su parte, Kai-Ta Hsieh, en 2015 propuso un sistema automático de extracción de líquidos en línea para análisis mediante espectrometría de masas. La extracción se lleva a cabo a través de un embudo de vidrio y capilares diseñados para minimizar la contaminación (Kai-Ta Hsieh a, 2015).

Luis Ortiz, en el año 2017 presentó un dispensador acústico para la manipulación de cultivos de ADN. Este dispositivo emplea energía sonora para transferir líquidos entre recipientes con una precisión de hasta 2.5 nano litros, utilizando un sistema completamente automatizado (Luis Ortiz, 2017).

Por otro lado, Aguagallo, en 2019 propuso un sistema automatizado para la administración de líquidos en el rango de litros, empleando herramientas de visión artificial. En particular, el sistema utiliza reconocimiento de superficies para posicionar el dispensador de manera óptima. Además, incorpora una interfaz que estima el volumen disponible mediante cálculos basados en la distancia de flotadores internos (Aguagallo, 2019).

El autor Mojiz Abbas Trimzi, en el año 2020 describió un dispositivo dispensador de líquidos basado en un mecanismo piezoeléctrico de chorro, complementado con un interruptor de bisagra-palanca y una unidad de aire presurizado (Mojiz Abbas Trimzi, 2020).

Mientras tanto, Jingjing Wang, en 2019 propuso un innovador método de manipulación de líquidos mediante una interfaz microfluídica-robótica universal. Utiliza tecnología de impresión por inyección de tinta, donde un robot, mediante tapas microfluídicas y presión neumática, dispensa microgotas en un recipiente de muestras (Jingjing Wang, 2019).

Finalmente, Takahiro Ando, en 2018 introdujo un método innovador de dispensación de líquidos mediante un tubo termoformado de níquel, diseñado para optimizar el aprovechamiento de muestras de sangre. El sistema, controlado por un motor a pasos, permite alcanzar volúmenes inferiores a 5 microlitros con alta precisión (Takahiro Ando, 2018).

A pesar del desarrollo de estas soluciones alternativas para la dispensación de muestras en volúmenes pequeños, la supervisión del volumen dispensado sigue siendo un aspecto poco abordado en las investigaciones analizadas. En este sentido, a continuación, se revisarán estudios que han explorado, aunque de manera parcial, la implementación de sensores para la supervisión y medición del volumen en la manipulación de sustancias.

Un ejemplo de la aplicación de sensores en la detección de nivel de líquidos lo presenta el autor Yufeng Yao, en 2018 donde describió el desarrollo de un sistema basado en el sensor de presión 24PCAFA6G. Este sensor permite estimar la presión en el interior del émbolo de una micropipeta adaptada, utilizando la relación entre presión y volumen (Yufeng Yao, 2018).

Por otro lado, una solución más avanzada en dispositivos autónomos la proponen los autores Zeng, Wang, Wang, Eichstaedt, & Yuan, en el año 2017, en donde describieron el desarrollo de un sistema de microinyección para aplicaciones de biología sintética. El dispositivo está compuesto por un motor a pasos, una guía de tornillo, un encoder absoluto, vástagos de pistón e imanes permanentes, además de integrar notificaciones de estado del sistema. La estimación del volumen se basa en la presión dentro del pistón, lo que puede generar imprecisiones en la supervisión del volumen disponible (Zeng, Wang, Wang, Eichstaedt, & Yuan, 2017).

Una alternativa a la supervisión del volumen la propone el autor Adam Round, en 2014 donde presentó un cambiador de muestras diseñado para experimentos de dispersión de rayos X de ángulo pequeño (SAXS). El sistema de inyección cuenta con una celda de exposición y un módulo de limpieza, además de integrar una cápsula de espectrofotómetro que permite medir la concentración de volumen en la pipeta y en los recipientes disponibles. A través de su interfaz, el dispositivo estima la cantidad de pipeteas restantes (Adam Round, 2014).

Los autores Bheemavarapu, Shah, Ramanathan, & Sivaprakasam, en 2018 presentaron una solución parcial mediante la modificación de una micropipeta comercial con la integración de un sensor de presión diferencial HSCDRN010MDAA3, utilizado para la detección de errores en las boquillas. Se destaca la incorporación de un sistema de monitoreo del volumen disponible dentro de la pipeta, cuyos niveles se visualizan en una interfaz gráfica. No obstante, la principal limitación del modelo radica en la ausencia de una estructura cartesiana (Bheemavarapu, Shah, Ramanathan, & Sivaprakasam, 2018).

Finalmente, Chunming Zhang, en 2019, abordó la implementación de un sistema de detección de volumen en un robot de manipulación de muestras. En este estudio, se detalla la instalación de un sensor de presión en una micropipeta diseñada para dispensar líquidos en volúmenes reducidos. Al integrar el sensor en la cámara interna de la micropipeta, se logra medir y supervisar el volumen disponible en la boquilla mediante la relación entre presión y volumen (Chunming Zhang, 2019).

A pesar de los avances en la automatización de la manipulación de líquidos, la supervisión del volumen de muestra sigue siendo un aspecto poco abordado en la mayoría de los dispositivos analizados. En muchos casos, los sistemas de dispensación no incluyen mecanismos para la medición del volumen en tiempo real ni para la estimación de la cantidad de muestras disponibles para su dispensación. Por otro lado, las soluciones que sí integran sensores de supervisión se han desarrollado principalmente para aplicaciones en biología sintética, espectroscopía o sistemas de pipeteo automatizado, sin un enfoque específico en análisis de HPLC o en la manipulación de volúmenes extremadamente reducidos. Esta brecha en la supervisión del volumen disponible en aplicaciones de alto rendimiento sugiere la necesidad de nuevas estrategias que optimicen la precisión y control en la dispensación de muestras, lo que se analizará en la siguiente sección.

CAPITULO 3. ESTADO DEL CAMPO

En la actualidad, la automatización de la manipulación de líquidos ha experimentado un avance significativo, lo que ha permitido la creación de dispositivos con alta capacidad de dispensación y una notable precisión en la dosificación de muestras. Empresas como Agilent, Tecan, Rainin, Eppendorf, Biobase y HTA han desarrollado soluciones innovadoras que abarcan desde micropipetas electrónicas hasta muestreadores automáticos para aplicaciones especializadas. Estos dispositivos ofrecen una amplia gama de volúmenes operativos y diferentes tecnologías de dispensación, lo que los hace idóneos para diversas aplicaciones en laboratorios de investigación y análisis químico. Con base en una revisión detallada del estado del campo, se presentan a continuación los dispositivos comerciales más relevantes y sus características principales, resaltando las limitaciones existentes en cuanto a la supervisión y estimación del volumen de muestra.

El fabricante Agilent lanzó al mercado en 2013 el muestreador automático Agilent 850-DS, diseñado con tecnologías modulares para integrarse con instrumentos de disolución de la misma marca. El dispositivo cuenta con un sistema automático de recolección de muestras, además de filtrar, registrar y almacenar las muestras mediante una bomba de jeringa de presión rotativa (Agilent Technologies , 2013).

A su vez, el fabricante Agilent lanzó al mercado en 2014 el dispensador de muestras Agilent 1290 Infinity II Multisampler, capaz de dispensar volúmenes de 10 a 5000 μL en viales, placas de microtubos u otros recipientes. Este dispositivo incorpora un sistema de inyección de doble aguja, lo que permite escalar el volumen de medida y aumentar la velocidad de dosificación. Además, cuenta con cajones de refrigeración de muestras y es compatible con aplicaciones en HPLC, alcanzando una desviación estándar relativa (RSD) menor al 1% (Agilent Technologies, 2014).

Por su parte, en el año 2016, la compañía Tecan comercializó el Dispensador Digital Tecan D300e, capaz de dispensar volúmenes desde 11 picolitros hasta 10 μL en placas de ensayo. Este dispositivo incorpora un modo de simulación para reducir errores y cuenta con visualización en tiempo real para un monitoreo preciso del proceso (Tecan Trading AG, 2016).

En 2019, Agilent presentó el muestreador automático de líquidos Agilent 7650A, con un rango de operación de 1 a 500 μL y tiempos de inyección de 100 microsegundos. El dispositivo cuenta con sensores de detección de jeringa, un inyector auto alienable e indicadores de error, además de ofrecer una reproducibilidad superior al 0.3% (Agilent Technologies, 2019).

Al mismo tiempo en 2019, la corporación Agilent lanzó al mercado el muestreador de espacio de cabeza Agilent 7697A, el cual cuenta con verificación automática de fugas, control independiente de presurización de vial para evitar contrapresiones y la capacidad de realizar hasta 100 extracciones de sustancia mediante su tecnología de múltiples concentraciones de espacio de cabeza (MHC). Además, dispone de 12 viales para el almacenamiento de muestras, siendo ideal para aplicaciones académicas o trabajos con bajas cargas de muestra (Agilent Technologies, 2019).

En 2023, la compañía Rainin comercializó la pipeta repetidora electrónica NanoRep, con una capacidad de dispensación de 100 nL hasta 50 mL. El dispositivo puede dispensar hasta 1000 muestras con una sola extracción, lo que le permite manipular líquidos viscosos, volátiles y acuosos (Mettler Toledo Rainin, 2023).

En 2024, la compañía Eppendorf presentó la pipeta electrónica repetidora Multipette E3/E3X, con un rango de operación de 5 μL a 50 mL. El dispositivo cuenta con 5000 niveles de volumen de dispensación, utiliza puntas Combitips Advanced equipadas con un sensor de reconocimiento, que permite identificar la punta y mostrar el volumen correspondiente. Además, posibilita múltiples dispensaciones con una sola extracción de sustancia (Eppendorf, 2024).

En 2024, el fabricante BioTek Instruments comercializó el dispensador de reactivos BioTek MultiFlo FX, capaz de dispensar en microplacas de 6 a 1536 pocillos. El dispositivo incorpora tecnologías como Parallel Dispense, Random Access Dispenser (RAD) y Automated Media Exchange (AMX), diseñadas para aplicaciones de detección e investigación de elementos celulares. Además, ofrece una precisión de menos del 5 % en 1 μL , menos del 2.5 % en 5 μL y menos del 2.0 % en 10 μL (BioTek Instruments, 2014).

En 2024, la empresa Biobase presentó el dispensador automático de micro líquidos AMS-01, capaz de dispensar volúmenes desde 5 μL mediante una bomba peristáltica de alta presión, realizando pipeteo simultáneo en 8 canales. El dispositivo está equipado con una interfaz gráfica para la visualización de operaciones y ofrece una precisión de $\leq 2.5\%$ en 20 μL y $\leq 1.5\%$ en 100 μL (Biobase Group, 2025).

Finalmente, la empresa HTA presentó en el mercado el dispensador de muestras HT2800T Autosampler Todo en Uno, con un rango de operación de 0.5 a 100 microlitros. Este dispositivo integra tecnologías de manipulación de líquidos, espacio de cabeza estático y micro extracción en fase sólida. Además, incorpora la tecnología patentada SyringeID, que permite la comprobación de jeringas, garantizando su integridad, así como un control de fugas en viales mediante mediciones de presión, lo que optimiza el aprovechamiento de las muestras (AGS Anakitica , 2025).

El análisis del estado del campo revela que, aunque el mercado ofrece una amplia variedad de dispensadores automáticos de líquidos y muestreadores con tecnologías avanzadas, la mayoría de estos dispositivos presentan limitaciones en términos de supervisión de volumen de muestra y estimación del número de inyecciones disponibles. Si bien algunos modelos incluyen sensores de detección y verificación de integridad de la muestra, estos mecanismos están principalmente orientados a la optimización de la dispersión en entornos de biotecnología y farmacología, en lugar de estar diseñados específicamente para la automatización de inyecciones en análisis HPLC con volúmenes reducidos.

Otro factor relevante es el costo y la complejidad operativa de estos dispositivos. La integración de tecnologías avanzadas, como la dispersión por bomba peristáltica o el uso de sistemas de microplacas, puede incrementar significativamente el precio y dificultar su implementación en laboratorios con recursos limitados. En consecuencia, existe una brecha tecnológica en la automatización de la inyección de muestras para HPLC, lo que subraya la necesidad de desarrollar soluciones más accesibles y especializadas, capaces de proporcionar supervisión precisa del volumen disponible y optimizar el uso de las muestras en análisis químicos.

CAPITULO 4. MARCO TEORICO

En este punto, resulta fundamental profundizar en los principios teóricos que sustentan la medición, supervisión y control de volúmenes en los sistemas automatizados, abordando conceptos clave como lenguajes de programación, técnicas de detección de volumen y estrategias de automatización, los cuales se desarrollan en el siguiente marco teórico.

Cromatografía líquida de alto rendimiento HPLC

Es uno de los métodos más utilizados en química analítica para la separación, identificación y cuantificación de los componentes dentro de una sustancia. Se basa en el principio de cromatografía de líquidos, donde la muestra es transportada a través de una fase móvil líquida que fluye a presión a lo largo de una fase estacionaria contenida en una columna. Dependiendo de la interacción de cada compuesto con ambas fases, estos se separan y pueden ser detectados por diferentes tipos de sensores, como detectores de absorción UV-Vis o espectrometría de masas. Esta técnica es ampliamente empleada en industrias farmacéuticas, químicas y ambientales debido a su alta precisión y sensibilidad (Daniela Suarez Ospina, 2018).

Uno de los componentes fundamentales en un equipo de HPLC es la válvula de inyección, ya que es el punto donde la muestra es introducida en el sistema para su análisis. Su función es vital, pues garantiza una inyección precisa y reproducible, aspectos esenciales para obtener resultados confiables. En este contexto, el desarrollo de un sistema automatizado de manipulación de muestras busca integrarse con la válvula de inyección del HPLC, optimizando la precisión y repetibilidad del proceso, además de minimizar errores humanos y mejorar la eficiencia del análisis (Daniela Suarez Ospina, 2018).

Python

Es un lenguaje de programación de código abierto, orientado a objetos y multiparadigma. Se considera de alto nivel, ya que incorpora estructuras de datos como listas, diccionarios y conjuntos, lo que permite resolver tareas complejas con pocas líneas de código de manera clara y comprensible. Además, cuenta con una amplia variedad de librerías especializadas

que facilitan su aplicación en distintos ámbitos de desarrollo y computación (Challenger-Pérez, Díaz-Ricardo, & Becerra-García, 2014).

Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo accesible y de código abierto, diseñada para la creación de dispositivos y entornos interactivos. Está equipada con un microcontrolador ATmega168, el cual se programa mediante el Arduino Programming Language y el entorno de desarrollo Arduino IDE. Además, cuenta con múltiples entradas para sensores y periféricos, lo que le permite operar de forma autónoma o en conjunto con una computadora mediante software de ejecución. Dentro de la familia de placas Arduino, los modelos más populares son el Arduino Uno y el Arduino Mega, ampliamente utilizados en aplicaciones educativas y de automatización (Herrador, 2009).

Raspberry Pi 4

Raspberry Pi es un dispositivo que funciona como una microcomputadora para la ejecución de diversas tareas. Emplea distintos tipos de procesadores y es compatible con sistemas operativos y aplicaciones de código abierto. Ofrece funcionalidades similares a las de una computadora convencional, incluyendo conexión a internet, Bluetooth, puertos USB, salida HDMI y una ranura para almacenamiento mediante tarjeta microSD. Además, es compatible con varios lenguajes de programación, como Python, C, C++, BASIC, Perl y Ruby, lo que la convierte en una herramienta versátil para el desarrollo y la educación (Hirak Dipak Ghael, 2021)

Protocolo UART

Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) es un protocolo de comunicación serial disponible en la Raspberry Pi. A diferencia de otros métodos de comunicación, no requiere una señal de reloj, lo que simplifica su implementación. Este protocolo utiliza solo dos pines físicos del dispositivo: uno para la transmisión de datos (TX) y otro para la recepción (RX). El pin transmisor envía bloques de 8 bits ordenados, que el pin receptor reorganiza en formato paralelo para su utilización. Dado que carece de sincronización por reloj, es fundamental que ambos dispositivos operen a una velocidad de transmisión similar para evitar errores en la comunicación (Juan Carlos Morelos Romero, 2015).

Motor a pasos

El motor a pasos es un dispositivo eléctrico de corriente directa que convierte impulsos eléctricos en pequeños movimientos angulares denominados pasos. La acumulación de estos pasos permite la rotación completa del motor. Puede incluir o no un encoder para la retroalimentación de posición. Para su funcionamiento, requiere un driver dedicado, el cual gestiona los pulsos eléctricos de manera precisa. Además, su operación involucra una fuente de alimentación y un microcontrolador capaz de administrar la secuencia de pulsos necesarios para su control (Omar Trejoluna Hernández F. d., 2024).

Microstep driver y fuente de voltaje

El driver de micro pasos es un dispositivo diseñado para administrar los pulsos eléctricos que controlan el movimiento del motor a pasos. Además de suministrar la energía necesaria, actúa como un enlace directo entre la fuente de alimentación y el motor. Se conecta a las dos bobinas del motor y comparte alimentación mediante una fuente de voltaje comercial, generalmente en un rango de 12 a 24 V. Este driver permite controlar el sentido de giro, el número de pasos por vuelta y la corriente que fluye durante el funcionamiento del motor, optimizando su rendimiento y precisión (Omar Trejoluna Hernández F. d.-L., 2024).

Actuador lineal eléctrico

El actuador lineal es un dispositivo que convierte el movimiento giratorio de un motor eléctrico en un desplazamiento lineal en una sola dirección, permitiendo también su contracción en sentido opuesto. En comparación con un actuador hidráulico, el actuador lineal eléctrico es una opción más accesible y de fácil implementación. Su torque depende de la aplicación y las especificaciones del fabricante, mientras que su velocidad de movimiento está determinada por los pulsos generados por un driver de motor eléctrico, el cual también suministra la alimentación al actuador (De la cruz Arteaga Jhovany, 2012).

Driver Puente H L298N

El driver puente H L298N es un controlador diseñado para motores eléctricos de corriente directa. Internamente, está compuesto por dos puentes H, lo que le permite controlar hasta dos motores de forma independiente. En aplicaciones con actuadores lineales, facilita el control del sentido de giro y la velocidad del motor mediante señales TTL (Transistor-

Transistor Logic) generadas por un microcontrolador. Además, el L298N suministra el voltaje de la fuente al motor a través de un regulador de voltaje integrado (Amao Sullcahuaman Shui Danitza, 2020).

Jeringa Presurizada Hamilton 701

La jeringa graduada Hamilton 701 para química analítica es un instrumento patentado que se caracteriza por estar presurizado, lo que previene la entrada de aire y la formación de burbujas. Su rango de operación varía entre 1 μ l y 10 μ l. Al ser un instrumento manual, su precisión y repetibilidad dependen directamente de la habilidad del laboratorista (Hamilton , 2024).

Micro interruptor de limite

Es un dispositivo que actúa como un interruptor mecánico de contacto, utilizado en maquinaria para delimitar el rango de movimiento de los dispositivos. Cuenta con dos modos de operación: normalmente cerrado (NC) y normalmente abierto (NO), lo que permite su adaptación a diferentes aplicaciones de control y seguridad (Mendez, 2016).

Sensor de presión diferencial

Es un sensor de silicio con propiedades piezoresistivas, diseñado para medir presiones a partir de la diferencia entre dos puntos de referencia, generalmente comparando la presión de un volumen dentro de un recipiente con la presión atmosférica. Proporciona una salida de tensión precisa y proporcional a la presión aplicada, y puede acoplarse a amplificadores de instrumentación para mejorar su precisión (NXP Semiconductors, 2025).

Sensor de distancia SHARP GP2Y0A21YK0F

Es un sensor diseñado para medir distancias a partir del voltaje correspondiente a una distancia específica. Funciona mediante un detector sensible a la posición (PSD), un diodo emisor infrarrojo (IR LED) y un circuito de procesamiento de señales. Emplea el método de triangulación, lo que lo hace resistente a variaciones en la reflectividad de los objetos y a cambios en la temperatura ambiental. El modelo mencionado tiene un rango de operación de 4 cm a 30 cm en condiciones óptimas (SHARP corporation , 2025).

Perfil de aluminio con ranura V2020

Es un perfil utilizado principalmente como guía de rieles en impresoras 3D y máquinas CNC. Se caracteriza por ser un material resistente y económico en comparación con otras opciones del mercado. Además, cuenta con una amplia variedad de piezas de ensamble y acoplamiento, como placas perforadas con ruedas para desplazamiento, ángulos de conexión entre perfiles de aluminio y pernos de sujeción para la instalación de otros aditamentos. Su versatilidad lo convierte en una de las opciones más viables dentro del mercado (SanDoRobotics , 2025).

Fresadora CNC

Es una guía deslizante de eje Z utilizada en fresado artesanal, compuesta por un husillo o tornillo sin fin acoplado a un motor a pasos de 12V. Permite un control preciso en aplicaciones que requieren movimiento en un solo eje. Al igual que los motores convencionales, requieren un driver y una fuente de voltaje confiable para garantizar un rendimiento óptimo en el desplazamiento del eje (AliExpress, 2025).

Pantalla LCD táctil

Es una pantalla portátil con funcionalidad táctil, lo que permite prescindir de periféricos como teclado y mouse en muchas aplicaciones. Está equipada con su propio puerto de alimentación y dos puertos HDMI, lo que facilita la conexión con dispositivos como la Raspberry Pi, computadoras de escritorio o sistemas embebidos más avanzados. Además, cuenta con una alta resolución para una visualización nítida, un diseño ligero y compacto para facilitar su transporte, y compatibilidad con múltiples sistemas operativos, lo que la convierte en una opción versátil para proyectos de automatización, desarrollo y entretenimiento.

El análisis de la literatura y los fundamentos teóricos expuestos permiten comprender la importancia de la automatización en los procesos analíticos, particularmente en la inyección de muestras para HPLC. El empleo de un sistema automatizado no solo aumenta la precisión y repetibilidad en la dosificación de muestras, sino que también reduce la intervención humana, minimizando errores y aumentando la eficiencia del análisis. Con base en estos principios, en la siguiente sección se presenta la metodología empleada en el diseño y

fabricación de un dispensador automatizado de muestras, detallando los criterios de elección en componentes, el desarrollo del sistema de control y las estrategias de integración con la válvula de inyección del HPLC.

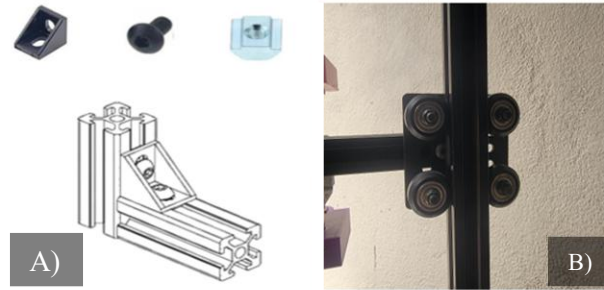


Figura 2. A) Perfil de aluminio V2020 y B) Placas perforadas con ruedas de goma.

Como primer paso en el desarrollo, se diseñó la estructura de movimiento, implementando un principio de guillotina para minimizar la cantidad de movimientos requeridos. En la Figura 2, se muestra el marco de la estructura principal, donde la barra de movimiento acoplada tendrá libertad de desplazamiento en un solo eje. Para el desplazamiento lineal de la barra, se integró un actuador lineal eléctrico, el cual fue instalado en la estructura mediante placas perforadas y acoples compatibles con las ranuras del perfil de aluminio V2020.

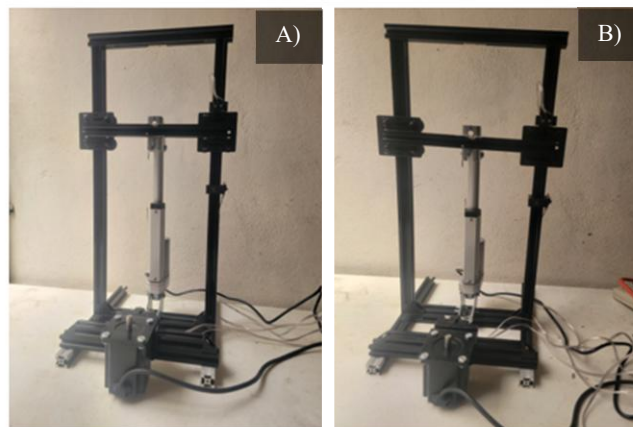


Figura 3. A) Estructura de perfil de aluminio V2020 y B) actuador lineal.

Para delimitar el movimiento del actuador lineal, se implementaron interruptores de final de carrera en la estructura. La posición del tope superior se denomina "posición de casa", mientras que el tope inferior corresponde a la "posición de inyección", evitando así daños en el sistema y sobrecargas en el motor eléctrico del actuador. Para su montaje, se diseñaron e imprimieron en filamento PLA unas bases de sujeción, las cuales fueron atornilladas al perfil de aluminio, como se muestra en la Figura 4. Esta configuración en el diseño permite ajustar la posición de los interruptores de final de carrera en caso de que sea necesario modificar el rango de movimiento.

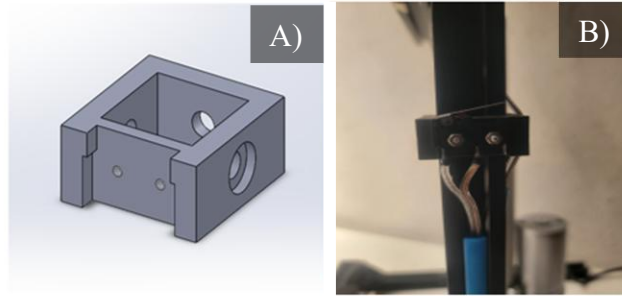


Figura 4. A) Diseño de base de interruptores y B) finales de carrera instalados en la estructura.

Bloque de Inyección

El objetivo principal del robot cartesiano es transportar un bloque de inyección, dedicado a la manipulación de volúmenes pequeños. Para llevar a cabo la tarea de extracción e inyección de líquidos, este bloque integra una jeringa presurizada, una guía deslizante de eje Z con motor a pasos, un sensor de distancia, sensor foto eléctrico laser y múltiples piezas impresas en 3D diseñadas a medida.

La guía deslizante de eje Z sirve como base para todo el bloque de inyección, permitiendo la integración de los componentes en una estructura compacta y funcional. La guía lineal ofrece un desplazamiento de 10 cm y está acoplada a un motor a pasos, lo que proporciona precisión en el movimiento lineal mediante un driver de giro, garantizando estabilidad y repetibilidad en la manipulación del embolo, como se aprecia en la Figura 5.

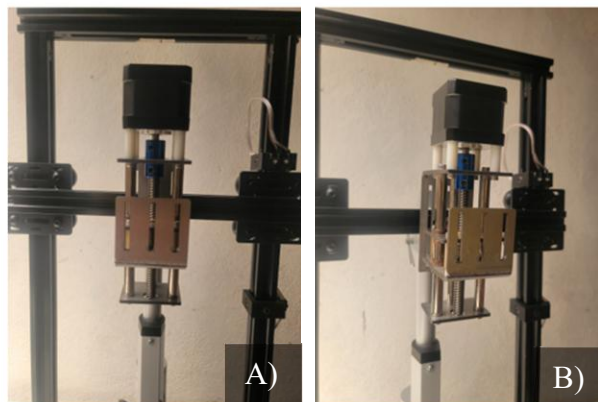


Figura 5. A) Guía deslizante de eje Z con motor y B) Vista lateral de guía deslizante.

Para el manejo y dispensación de muestras, se seleccionó una jeringa presurizada, un instrumento graduado que evita la necesidad de caracterizar un recipiente construido desde cero. Además, su uso minimiza la entrada de aire y la formación de burbujas, problemas

comunes en sistemas mal diseñados. La jeringa, es instrumento manual, cuenta con un émbolo vertical encargado dispensar volúmenes de 1 a 10 μL . El movimiento vertical requerido para su funcionamiento es compatible con la guía deslizante de eje Z, lo que facilita su integración. Gracias a esta compatibilidad, se diseñó e imprimieron piezas de sujeción personalizada para el barril y el émbolo de la jeringa, asegurando un ajuste preciso y permitiendo un desplazamiento acorde al volumen de 10 μL . Las piezas impresas se instalaron correctamente en la estructura, garantizando estabilidad y alineación en el sistema de dispensación, como se observa en la figura 6.

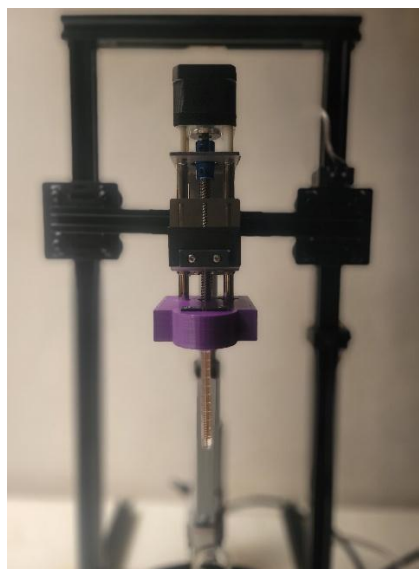


Figura 6. Piezas impresas para sujeción de jeringa en guía deslizante.

El sensor de distancia fue seleccionado para medir la separación generada entre la base superior de la guía lineal y la mesa deslizante encargada de mover el émbolo de la jeringa de forma vertical. Dado el rango de operación de la jeringa, es fundamental conocer esta distancia para calibrar con precisión el desplazamiento y garantizar que la mesa deslizante se posicione correctamente según el volumen requerido. Para su instalación, se diseñó e imprimió una base en 3D a medida, asegurando una distancia mínima de 4 cm para evitar el punto ciego del sensor, conforme a las especificaciones del datasheet. Además, se fabricó una base alineada con el rango de operación del sensor, instalada en la mesa deslizante, permitiendo registrar variaciones de distancia y ajustar los volúmenes dispensados con mayor precisión, como se aprecia en la Figura 7.

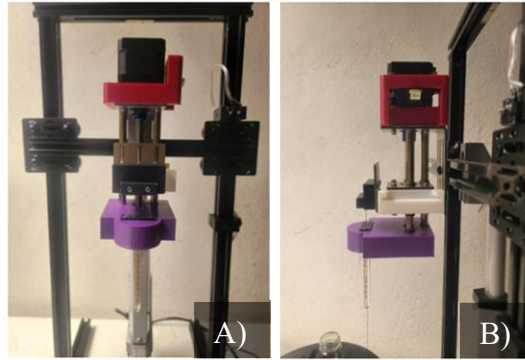


Figura 7. A) Sensor de distancia instalado en la guía deslizante y B) Vista lateral de la pieza.

Bloque Indexadora

El bloque de indexadora es la sección encargada del transporte y almacenamiento de los recipientes de muestra. Está compuesto por un motor a pasos que sirve como base del sistema, al cual se encuentran acoplados sensores de presión diferencial y micro interruptores de final de carrera. La estructura fue diseñada a la medida del rotor mediante software de diseño 3D, considerando la capacidad de almacenamiento de hasta cuatro recipientes, como se observa en la Figura 8.

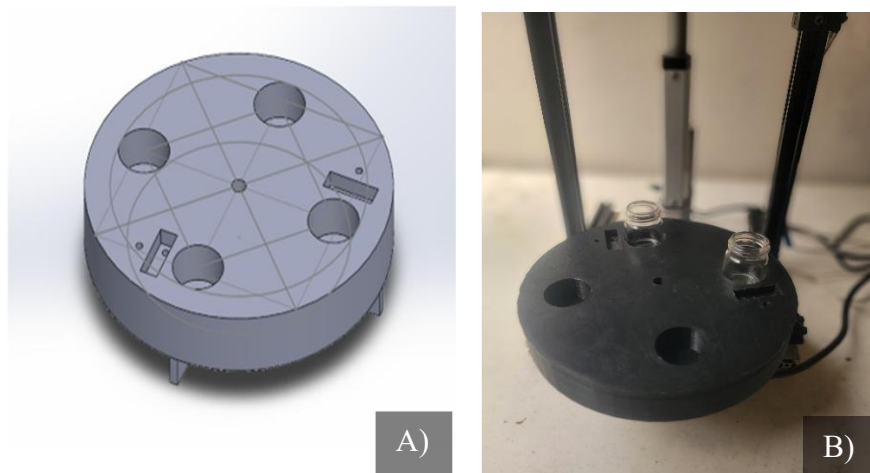


Figura 8. A) Diseño de indexadora y B) Instalación de indexadora en motor.

Además, en el diseño se integró una base atornillada para la instalación del sensor de presión diferencial dentro de la indexadora, asegurando su correcta fijación y funcionamiento. Como se observa en la Figura 9, este sensor contará con su propio microcontrolador dedicado para la recolección y procesamiento de datos.

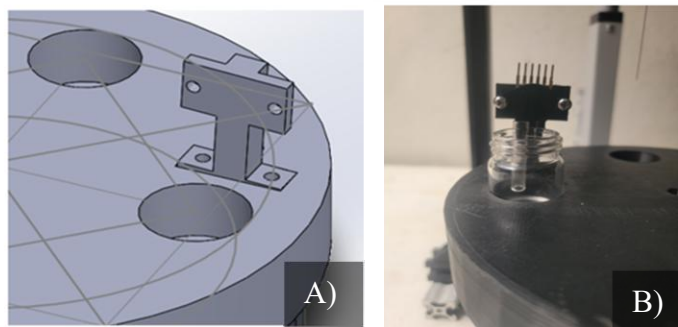


Figura 9. A) Piezas de sujeción de sensor de presión diferencial y B) Instalación de la pieza en el sensor.

El bloque de inyección debe coordinarse y alinearse con el bloque de la indexadora. Para ello, se emplearon micro interruptores de final de carrera, asegurando la alineación precisa entre ambos bloques. En caso de que los interruptores no se accionen, la jeringa y el resto del bloque de inyección no se verán comprometidos si existe un obstáculo en el camino. Además, este sistema garantiza una coordenada exacta de funcionamiento, como se observa en la Figura 10.

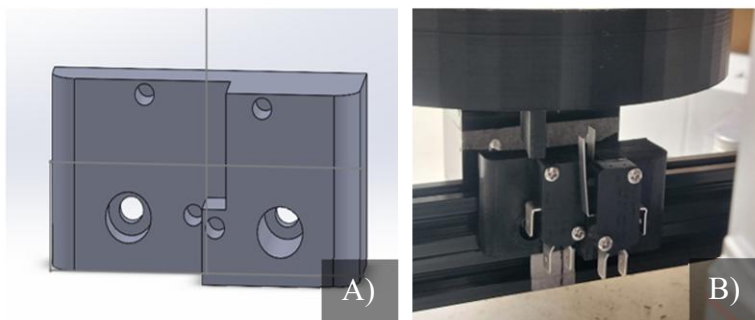


Figura 10. A) Piezas de sujeción de micro interruptores y B) Instalación de la pieza en el dispositivo.

Bloque raspberry

El robot cartesiano, el bloque de inyección y el bloque de la indexadora, al estar diseñados para cumplir tareas específicas, manejan una gran cantidad de información. Por ello, en cada bloque se integró un microcontrolador dedicado a la recolección y transmisión de los datos obtenidos por los sensores y las acciones ejecutadas. Esta información es enviada como indicadores al dispositivo maestro, donde los microcontroladores Arduino Uno actúan como esclavos dentro de la comunicación UART de transmisión (TX) y recepción (RX) de datos, mientras que la Raspberry Pi funge como el controlador principal del sistema. La arquitectura del dispositivo, con sus respectivos esclavos y maestro, se muestra en la Figura 11.

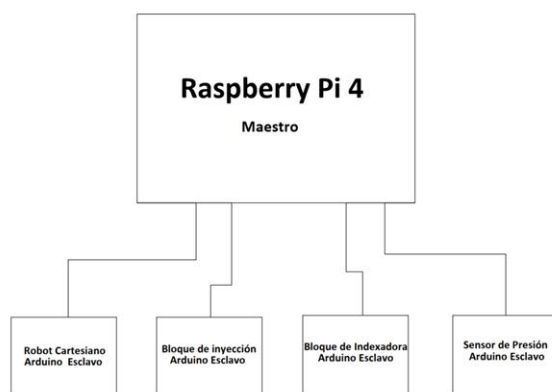


Figura 11. Jerarquía de maestro esclavo.

La Raspberry Pi 4 es el dispositivo encargado de recibir los datos proporcionados por los microcontroladores esclavos mediante el protocolo de comunicación UART y un divisor de voltaje debido a la diferencia de operación de los dispositivos. La información recopilada será procesada e interpretada para su visualización en una interfaz gráfica de usuario, desplegada en un display acoplado al dispositivo. Esta interfaz permitirá configurar las acciones a realizar, seleccionar el volumen de trabajo y graficar el volumen actual en el recipiente de muestras. Fue diseñada en el software PyQt5, utilizando el lenguaje Python, y se ejecutará directamente en la Raspberry Pi, como se observa en la Figura 12.

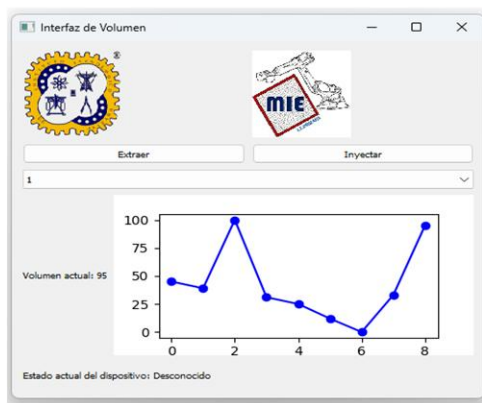


Figura 12. Interfaz gráfica de usuario para el manejo del dispositivo.

Una vez integrados todos los bloques del dispositivo y definida la jerarquía de transmisión y recepción de información, se procedió a la fase de pruebas, con el objetivo de verificar el funcionamiento general del equipo y evaluar su desempeño mediante pruebas de precisión, repetibilidad y robustez.

CAPITULO 6. LIMITE Y ALCANCES

Alcances

El sistema desarrollado logró cumplir con los objetivos establecidos para la automatización del proceso de extracción e inyección de líquidos en volúmenes pequeños. Se diseñaron e integraron tres bloques principales: el robot cartesiano, el bloque de inyección y el bloque de indexadora, los cuales operan de manera coordinada para realizar la tarea completa de dispensación de muestras. Cada bloque consta de un microcontrolador encargado de ejecutar acciones específicas del bloque, además de transmitir información al dispositivo maestro, una Raspberry Pi 4, mediante comunicación UART.

Dentro de los alcances funcionales se encuentra la capacidad del sistema para manipular volúmenes de 1 a 10 μL , rango determinado por la jeringa presurizada utilizada. La inclusión de sensores de distancia, sensores de contacto y sensores de presión diferencial permitió una supervisión precisa del estado del sistema durante el proceso de dispensación. Asimismo, se logró implementar una interfaz gráfica de usuario desarrollada en PyQt5, desde la cual se puede seleccionar el volumen deseado, iniciar procedimientos y visualizar información clave como el volumen restante en el recipiente de muestra.

Además, el sistema fue sometido a pruebas de precisión y repetibilidad, logrando ejecutar 1500 ciclos de extracción y dispensación por cada volumen evaluado. Los resultados fueron comparados con extracciones manuales y validados mediante una balanza analítica certificada, lo que permitió cuantificar la eficacia del sistema automatizado frente al proceso tradicional.

El diseño modular por medio de bloques, la fabricación de piezas impresas en 3D y la integración electrónica mediante protocolos de comunicación facilitaron el desarrollo de un prototipo funcional, con potencial para integrarse a sistemas más complejos, como una válvula de inyección para cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), lo cual representa una línea de mejora futura.

Limitaciones

Aunque el sistema logró cumplir satisfactoriamente con sus funciones principales, se identificaron ciertas limitaciones técnicas y operativas que pueden considerarse en desarrollos futuros. Una de las principales limitaciones está relacionada con la precisión de la dispensación en el rango de los microlitros, la cual depende en gran medida del diseño mecánico del sistema de sujeción de la jeringa y de la resolución alcanzable por el motor paso a paso acoplado a la guía deslizante. A pesar de que se logró una repetibilidad aceptable, variaciones mínimas pueden presentarse debido a factores como el desgaste mecánico o pequeñas desviaciones en la alineación del eje del émbolo.

A su vez, el cálculo del volumen restante en el recipiente de muestras se basa en capturas a partir de sensores como el de presión diferencial, lo que limita la precisión absoluta de la medición. Aunque el sistema brinda un monitoreo constante, este puede verse afectado por variables externas como la temperatura ambiente o pequeñas fugas no detectadas.

En términos de comunicación, si bien el protocolo UART empleado entre los microcontroladores y la Raspberry Pi 4 es robusto y funcional, la escalabilidad del sistema podría verse comprometida si se pretende incorporar un número mayor de bloques o dispositivos adicionales, requiriendo entonces un rediseño de la arquitectura de comunicación hacia un protocolo más avanzado, como I2C, SPI o incluso comunicación inalámbrica.

Por otro lado, debido a la utilización de componentes impresos en 3D con filamento PLA, el sistema presenta cierta sensibilidad a las condiciones ambientales, como la exposición a temperaturas elevadas o ambientes con alta humedad, lo que puede afectar la durabilidad del equipo a largo plazo.

Finalmente, aunque el sistema fue probado en condiciones controladas, no se realizaron pruebas directamente con equipos HPLC, por lo que su integración completa con estos sistemas queda como una línea de trabajo futura, donde podrían surgir nuevas exigencias en términos de compatibilidad, precisión y validación bajo normativas específicas del área.

CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para poner a prueba el funcionamiento del dispositivo, se realizaron múltiples pruebas de extracción y dispensación de volumen con el objetivo de evaluar la precisión y repetibilidad del sistema dentro de los rangos operativos definidos por la jeringa integrada. A modo de comparación, se llevaron a cabo inyecciones tanto con el sistema automatizado como de forma manual, utilizando recipientes idénticos.

Para la evaluación cuantitativa del volumen dispensado en cada prueba, se utilizó una balanza analítica, basada en tecnología de sensor de diapasón. Este equipo cuenta con una capacidad máxima de 220 g y una resolución de 0.1 mg (0.0001 g), lo cual resulta adecuado para detectar variaciones de masa equivalentes a volúmenes del orden de microlitros, considerando que 1 μL de agua pura equivale a aproximadamente 1 mg. La balanza posee una repetibilidad de 0.05 mg, un tiempo de estabilización promedio de 3 segundos y cuenta con calibración automática. Estas características del equipo aseguran una medición rápida y precisa, para validar la precisión y repetibilidad del sistema automático desarrollado, como se observa en la figura 13.



Figura 13. Balanza Analítica,

Gracias al equipo de instrumentación mencionado, fue posible detectar diferencias mínimas entre el volumen objetivo y el volumen dispensado, proporcionando evidencia cuantitativa sólida para el análisis estadístico comparativo entre la dosificación automática y manual. Este procedimiento fue repetido un total de 1500 veces por cada volumen del rango de 1 a 10 μL ,

lo que permitió obtener una base de datos robusta para el análisis de desempeño del dispositivo, como se observa en la Tabla 1.

ID	Volumen objetivo (μL)	Dispensador automático (μL)	Error automático (%)	Dosificación manual (μL)	Error manual (%)
1	7	6.98	-0.29	7.08	1.14
2	4	4.01	0.25	3.84	-4
3	8	8.06	0.75	8.25	3.12
4	5	4.96	-0.8	5.18	3.6
5	7	7.01	0.14	6.95	-0.71
6	10	9.95	-0.5	9.99	-0.1
7	3	3.03	1	2.86	-4.67
8	7	6.92	-1.14	7.11	1.57
9	8	7.97	-0.38	8.14	1.75
10	5	5.01	0.2	4.99	-0.2
11	4	4.05	1.25	4.13	3.25
12	8	8	0	7.92	-1
13	8	7.97	-0.38	8.14	1.75
14	3	3.04	1.33	2.91	-3
15	6	5.93	-1.17	6	0
16	5	4.92	-1.6	4.97	-0.6

Tabla 1. Comparativa de dispensación manual vs automática.

Con los datos obtenidos en las múltiples pruebas, se calcularon valores estadísticos importantes como lo son: La media, desviación estándar, porcentaje de desviación estándar relativa (%RSD), error absoluto medio y error relativo, como se observa en la tabla 2.

Método	Media (μL)	Desviación estándar (μL)	%RSD	Error absoluto medio (μL)	Error relativo medio (%)
Dispensador automático	5.473	2.920	53.36	0.033	0.58
Dosificación manual	5.471	2.925	53.47	0.133	2.43

Tabla 2. Análisis estadístico de la precisión y repetibilidad.

Gráfico de barras del %RSD por volumen objetivo

La RSD global presente en ambos métodos es elevado debido al amplio rango de volúmenes analizados. Para evaluar con mayor claridad la precisión, se analizaron los resultados por volumen individual, representados en el gráfico de barras mostrado en la figura 14.

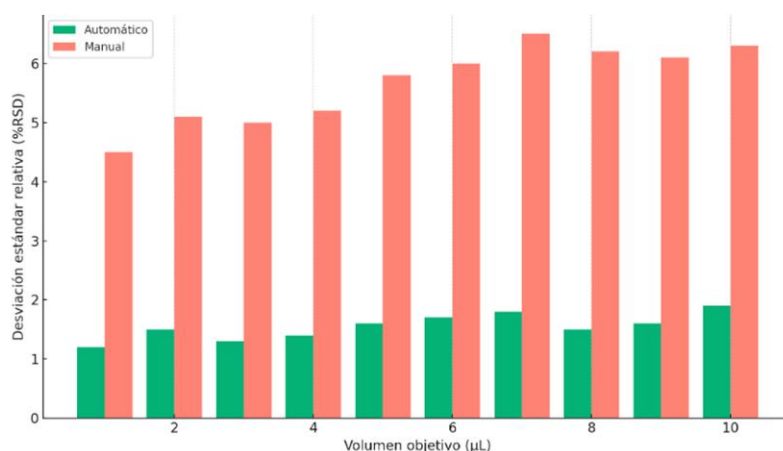


Figura 14. Gráfico de barras RSD por volumen dispensado.

En el caso del dispensador automático, se obtuvo una media de dosificación cercana al valor objetivo, con una desviación estándar baja. El valor de %RSD fue menor al 2 % en pruebas por volumen individual, lo que indica una alta repetibilidad en la entrega de volúmenes. Este resultado refleja la capacidad del sistema para dosificar muestras de manera precisa y consistente, incluso en el rango de volúmenes microlitros.

En contraste, la dosificación manual presentó una desviación estándar significativamente mayor y un %RSD aproximado del 6 %, evidenciando una mayor variabilidad y menor precisión. Esta diferencia es especialmente relevante cuando se trabaja con volúmenes pequeños, donde cualquier desviación representa un mayor porcentaje del volumen total.

Aunque ambos métodos presentan una variabilidad similar en términos absolutos (Desviación estándar y desviación estándar relativa), los errores sistemáticos y relativos son significativamente menores en el dispensador automático. Esto demuestra su capacidad para entregar volúmenes más precisos y consistentes, especialmente en el rango de micro volúmenes, validando su eficacia como una herramienta confiable para la automatización de procesos que requieren exactitud en la manipulación de líquidos.

Histogramas de la distribución del error relativo

En la figura 15 se presentan histogramas comparativos de la distribución del error relativo (%) para el dispensador automático desarrollado y la dosificación manual tradicional. En ambos casos, el error relativo se calculó como el porcentaje de desviación respecto al volumen objetivo.

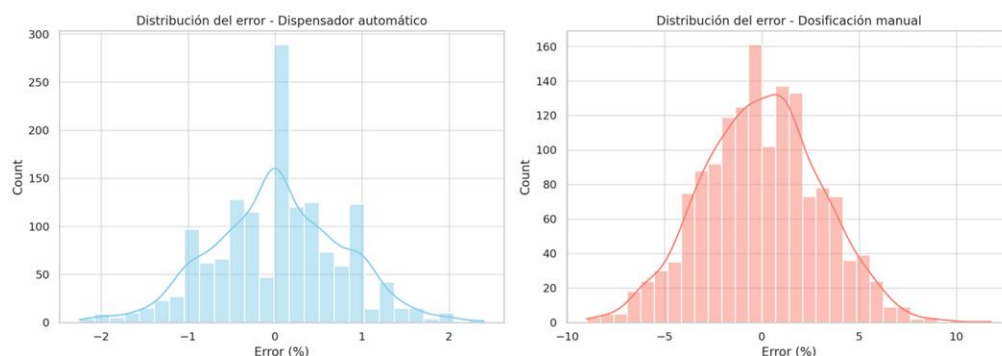


Figura 15. Histograma de distribución del error relativo.

En el caso del dispensador automático, se observa que la mayoría de los datos se concentran en un rango estrecho cercano al 0 % de error, indicando una alta precisión y consistencia en las dispensaciones. La distribución muestra una forma simétrica y centrada, con pocos valores extremos, lo cual refleja una baja variabilidad entre mediciones. La dispersión de los datos se mantiene en un rango de aproximadamente -2 % a +2 %, evidenciando un control efectivo del volumen dispensado.

Por otro lado, en la dosificación manual, si bien también existe una concentración de datos cercana al 0 %, la dispersión es considerablemente mayor, extendiéndose desde aproximadamente -10 % hasta +10 % de error relativo. Además, la forma de la distribución presenta una ligera asimetría, lo que sugiere la presencia de sesgos sistemáticos en algunas de las mediciones manuales. Esta mayor variabilidad es atribuible a factores humanos como falta de exactitud en el control del émbolo de la jeringa o variaciones en la percepción del volumen.

Estos resultados confirman que el dispensador automático proporciona un desempeño superior en términos de precisión y repetibilidad al minimizar tanto el error sistemático como el error aleatorio, en comparación con la técnica manual de dispensación. Lo anterior respalda la viabilidad del dispositivo para aplicaciones que requieren un control riguroso de volúmenes en el rango de 1 a 10 μL .

Gráfica de dispersión de Volumen objetivo vs volumen dispensador

Además, los volúmenes dispensados fueron sometidos a una gráfica de dispersión en comparación con los rangos de volúmenes de la jeringa, permitiendo hacer una comparativa mas clara entre los dos métodos de manipulación, como se observa en la figura 16.

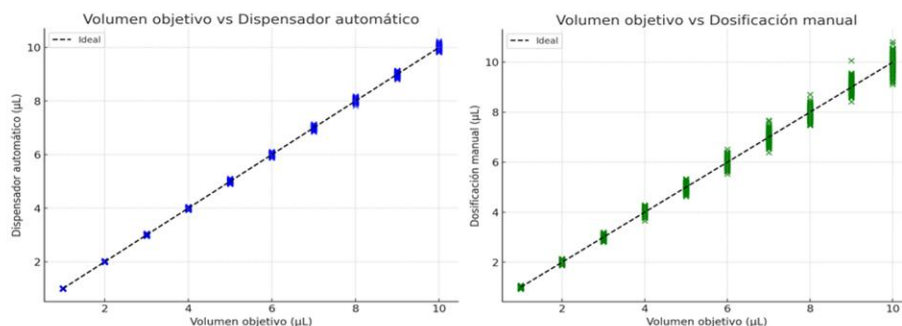


Figura 16. Gráfica de dispersión de dosificación manual y automática.

El análisis de las gráficas demuestra que el dispensador automático proporciona volúmenes de manera significativamente más precisa y exacta que la dosificación manual. Los datos del dispensador automático muestran alineación cercana a la línea ideal y presentan barras de error mínimas, indicando un control estricto y confiable del volumen dispensado. En contraste, la dosificación manual presenta mayor dispersión de los datos y barras de error más amplias, reflejando una menor eficiencia, tanto en términos de precisión como de exactitud.

Gráfica de barras: Comparativa de error absoluto medio y error relativo medio

La figura 17 presenta una gráfica de barras que compara el error absoluto medio y el error relativo medio entre ambos métodos.

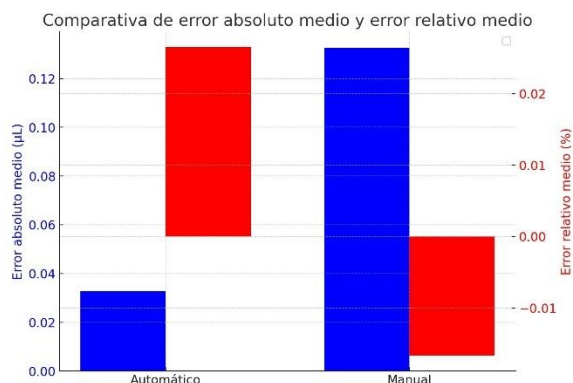


Figura 17. Error absoluto medio y error relativo medio de ambos métodos.

Se observa que el dispensador automático presenta un error absoluto medio considerablemente menor, reflejando una mayor precisión en la entrega de volúmenes. A su vez, el error relativo medio del dispensador automático es cercano a cero, indicando exactitud

y ausencia de problemáticas. En contraste, la dosificación manual muestra mayores valores de error, confirmando la superioridad del sistema automático en términos de precisión y confiabilidad. El error absoluto medio del dispensador automático (0.03 µL) es considerablemente menor que el de la dosificación manual (0.13 µL), el error relativo medio del dispensador automático (0.58 %) es mucho menor que el del método manual (2.43 %). Estos resultados cuantifican objetivamente la superioridad del sistema automático en términos de precisión.

Repetibilidad y precisión

La repetibilidad se determinó utilizando el porcentaje de desviación estándar relativa (%RSD), calculado para cada conjunto de mediciones de un mismo volumen objetivo mediante la fórmula:

$$\%RSD = \left(\frac{\text{Desviación estándar (SD)}}{\text{Media}} \right) \times 100$$

De igual manera, la precisión se evaluó a través del error absoluto medio, obtenido como el promedio de las diferencias en valor absoluto entre el volumen dispensado y el volumen objetivo.

Con base en este procedimiento, el dispensador automático presentó un %RSD promedio cercano a 0.3 %, evidenciando una excelente repetibilidad y una dispersión mínima de los datos respecto a la media. El error absoluto medio fue de aproximadamente 0.03 µL, indicando una elevada precisión en la entrega de volúmenes.

En contraste, la dosificación manual arrojó un %RSD promedio de aproximadamente 2.5 %, acompañado de un error absoluto medio mayor de 0.13 µL, reflejando una menor consistencia y precisión en las mediciones realizadas manualmente.

Estos resultados permiten concluir que el dispensador automático desarrollado no solo ofrece una mayor precisión al acercarse consistentemente al volumen objetivo, sino que también garantiza una alta repetibilidad entre ciclos de dispensación, características fundamentales para aplicaciones que demandan un control estricto y fiable de volúmenes en el rango de 1 a 10 µL.

CONCLUSIONES

El desarrollo e implementación del sistema automático de dispensación de líquidos en el rango de 1 a 10 μL representó un avance significativo en términos de precisión, repetibilidad y control sobre la dosificación de volúmenes microlíticos. Los resultados experimentales obtenidos a lo largo de las pruebas comparativas entre la dosificación automática y la dosificación manual evidencian de manera contundente las ventajas del dispositivo desarrollado.

A partir del análisis cuantitativo, empleando una balanza analítica de alta resolución, se observó que el dispensador automático logró un error absoluto medio de apenas 0.03 μL y un error relativo medio de 0.58 %, cifras considerablemente inferiores a las registradas en la dosificación manual (0.13 μL y 2.43 %, respectivamente). A su vez, el porcentaje de desviación estándar relativa (%RSD), indicador de la repetibilidad, fue notablemente menor en el sistema automático, registrando un promedio de 0.3 % en contra del 2.5 % obtenido en las pruebas manuales.

La evidencia gráfica, sustentada en histogramas de error relativo, gráficos de dispersión de volumen objetivo versus volumen dispensado, y comparativas de error absoluto y relativo, refuerza de manera visual y estadística la superioridad del dispensador automático. En particular, el hecho de que los datos estén muy cerca de los valores ideales y muestren poca variación en las gráficas demuestra que el sistema desarrollado es muy preciso y constante. Esto es muy importante en aplicaciones científicas y tecnológicas donde se necesita controlar con exactitud volúmenes muy pequeños.

Además de los resultados obtenidos, el sistema presenta ventajas adicionales como la reducción de errores humanos, la disminución de la variabilidad entre operadores y la capacidad de acoplamiento en plataformas de automatización. Su desempeño confiable y su repetibilidad consistente lo posicionan como una herramienta potencialmente útil para laboratorios de investigación, control de calidad en la industria farmacéutica, análisis químico, entre otras áreas donde la manipulación de líquidos de bajo volumen es fundamental.

No obstante, es importante señalar que, si bien el dispositivo mostró un desempeño sobresaliente en el rango de 1 a 10 μL , su aplicación podría estar limitada por la jeringa utilizada y las características de los líquidos a dispensar, tales como viscosidad o tensión superficial. Futuras líneas de trabajo podrían centrarse en optimizar el diseño mecánico para mejorar la precisión en volúmenes aún menores, automatizar el proceso de carga de muestra, o implementar sistemas de retroalimentación que permitan un control adaptativo en tiempo real.

En conclusión, el sistema de dispensación automática desarrollado en este proyecto ha demostrado cumplir con los objetivos planteados, superando la dosificación manual tanto en precisión como en repetibilidad, lo que convierte al dispositivo en un aporte importante en el área de la automatización de procesos de manipulación de líquidos a escala micrométrica.

RECOMENDACIONES

Como mejora futura, se planea conectar el dispositivo a una válvula de inyección para HPLC, colocándola en un nivel más bajo dentro del sistema. Esto ayudaría a reducir al mínimo la manipulación directa de las sustancias que se van a inyectar. Esta integración facilitaría el depósito de muestras dentro del equipo de HPLC, asegurando una introducción precisa y controlada. La válvula de inyección garantizaría que la muestra ingrese al sistema sin afectar el flujo ni la presión existentes, gracias a su diseño basado en un bucle de presiones, lo que optimizaría el desempeño del análisis cromatográfico.

Por la parte de microcontroladores, se recomienda la fabricación de tarjetas diseñadas específicamente para las funciones encomendadas, lo que permitiría reducir el espacio y optimizar las capacidades del dispositivo. A diferencia de una tarjeta de desarrollo como Arduino, que cuenta con múltiples puertos y combinaciones disponibles, un diseño de hardware dedicado aseguraría que el microcontrolador esté enteramente enfocado en la tarea asignada, mejorando la eficiencia y el rendimiento del sistema.

En la sección de la indexadora, se propone optimizar el diseño de la impresión 3D para ampliar la capacidad de almacenamiento de recipientes con diferentes muestras. Asimismo, se plantea una mejora en el montaje de los sensores de presión, reduciendo el espacio dentro de la indexadora para incrementar la movilidad y facilitar la realización de múltiples pruebas en el dispositivo. Además, se considera la incorporación de un recipiente con una solución de limpieza, lo que permitiría efectuar pruebas con distintas muestras sin riesgo de contaminación cruzada.

Finalmente, una mejora aplicable a todos los bloques que conforman el dispositivo es el uso de motores a pasos con encoder incorporado. Esta opción facilita la operación y mejora la precisión de los movimientos sin necesidad de utilizar tecnologías como encoders absolutos, que requieren la instalación de imanes permanentes en los rotores, o interruptores de final de carrera. Además, los motores con encoder integrado ofrecen mayor libertad de movimiento y reducen considerablemente el espacio necesario dentro de los bloques que los empleen, como el bloque de la indexadora y el bloque de inyección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A., C. G. (2014). Desarrollo de tecnología para la automatización en el dispensado de soluciones acuosas en microplacas. *Memorias del Instituto de Biología Experimental* , 77-80.
- Adam Round, F. F. (2014). BioSAXS Sample Changer: a robotic sample changer for rapid and reliable high-throughput X-ray solution scattering experiments. *Acta Crystallographica*.
- Agilent Technologies . (2013). *850-DS Dissolution Sampling Station Specification* . Estados Unidos : Agilent Technologies .
- Agilent Technologies. (2014). *Agilent 1200 Infinity Series Multisamplers User Manual* . Alemania: Agilent Technologies.
- Agilent Technologies. (6 de Abril de 2016). *Cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC): fundamentos y teoría*. Recuperado el 11 de Julio de 2024, de https://www.agilent.com/cs/library/slidepresentation/public/5991-5411ES_Agilent_LC_Theory_Spanish.pdf
- Agilent Technologies. (2019). *Agilent Has The Right Sample Introduction Product For Your Lab*. Estados Unidos : Agilent Technologies.
- AGS Anakitica . (3 de Marzo de 2025). *AGS Anakitica* . Obtenido de Autosamplers Todo en uno para GC: <https://www.agsanalitica.com/es/categoria/Autosamplers-Todo-en-uno-para-GC>
- Aguagallo, C. L. (2019). *Construcción de un prototipo de dispensador automático de fluidos utilizando visión artificial* . Quito : Escuela Politécnica Nacional .
- Amao Sullcahuaman Shui Danitza, C. C. (2020). *Movil que recorre un circuito de una entrada* . cusco : Universidad nacional de san antonio abad del cusco .
- Amin Kazemzadeh, A. E. (2019). A micro-dispenser for long-term storage and controlled release of liquids. *Nat Commun*.

- Andres Faiña, B. N. (2020). EvoBot: An Open-Source, Modular, Liquid Handling Robot for Scientific Experiments. *Applied Sciences*.
- Bheemavarapu, L. P., Shah, M. I., Ramanathan, R., & Sivaprakasam, M. (2018). Intelligent Pipetting System Towards Automatic Liquid Handling Applications. *2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*. Rome, Italy: IEEE.
- Biobase Group. (03 de Marzo de 2025). *Biobase China* . Obtenido de Dispensador Automático de Micro Líquidos AMS-01: <https://es.biobase.com/product/automatic-micro-liquid-dispenser-ams-01>
- BioTek Instruments. (2014). *MultiFlo™ FX Microplate Dispenser Operator's Manual*. Vermont: BioTek Instruments.
- Buie, J. (10 de Junio de 2010). *Evolution Of HPLC Systems*. Recuperado el 28 de Agosto de 2024, de <https://www.labmanager.com/evolution-of-hplc-systems-19579>
- Challenger-Pérez, I., Díaz-Ricardo, Y., & Becerra-García, R. A. (2014). El lenguaje de programación Python. *Ciencias Holguín*, 1-13.
- Chunming Zhang, Y. H. (2019). The Liquid Level Detection System Based on Pressure Sensor. *Nanoscience and Nanotechnology*, 2049–2053.
- Daniela Suarez Ospina, Y. M. (2018). Principios basicos de la cromatografia liquida de alto rendimiento para la separacion y analisis de mezclas . *Semilleros: Formación Investigativa*, 7-14.
- Darshan C. Patel a, b. Y. (2018). Unattended reaction monitoring using an automated microfluidic sampler and on-line liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 32-39.
- David C. Florian, M. O. (2020). Principles of computer-controlled linear motion applied to an open-source affordable liquid handler for automated micropipetting. *Scientific Reports*.

- De la cruz Arteaga Jhovany, M. L. (2012). *Diseño de un lazo de control para un actuador lineal*. México : Instituto politecnico nacional .
- E. Enoch A. W. Councill, N. B. (2020). Adapting a Low-Cost and Open-Source Commercial Pipetting Robot for Nanoliter Liquid Handling. *SLAS TECHNOLOGY: Translating Life Sciences Innovation*.
- eppendorf. (2024). *Ganadores por naturaleza*. Alemania: eppendorf.
- Fabian Barthels, U. B. (2020). FINDUS: An Open-Source 3D Printable Liquid-Handling Workstation for Laboratory Automation in Life Sciences. *SLAS TECHNOLOGY: Translating Life Sciences Innovation*, 190-199.
- Govindaraghavan, S. (2014). Pharmacopeial HPLC identification methods are not sufficient to detect adulterations in commercial bilberry (*Vaccinium myrtillus*) extracts. Anthocyanin profile provides additional clues. *Fitoterapia*, 99, 124-138.
- Hargittai, E. P. (2021). Mikhail S. Tsvet—pioneer of chromatography—150 years. *Structural Chemistry*, 33, 1-3.
- Heidi Fleischer, D. B. (2018). Integration of Electronic Pipettes into a Dual-arm Robotic System for Automated Analytical Measurement Processes. *2018 IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (págs. 1-6). Munich, Germany: IEEE.
- Herrador, R. E. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*. Cordoba : Universidad de Córdoba.
- Hirak Dipak Ghael, D. L. (2021). A Review Paper on Raspberry Pi and its Applications. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 225-227.
- Iriarte Perdigón, A. C. (2022). *Historia, desarrollo y últimos avances en cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC)*. Bogotá: Corporación Tecnológica de Bogotá.
- Isabel, V. M. (2023). *Comparacion entre las tecnicas de Western y HPLC*. Cautitlan izcalli: Universidad Autonoma de Mexico.

- Jichun Li, V. S. (2016). A Modular Liquid Sample Handling Robot for High-Throughput Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Advances in Reconfigurable Mechanisms and Robots II*, 769-779.
- Jingjing Wang, K. D.-A. (2019). Microfluidic cap-to-dispense (μ CD): a universal microfluidic-robotic interface for automated pipette-free high-precision liquid handling. *Lab on a Chip*.
- John P. Efromson, S. L. (2021). BioSamplr: An open source, low cost automated sampling system for bioreactors. *HardwareX*.
- Juan Carlos Morelos Romero, G. D. (2015). Configuración PIC-Raspberry Pi® modelo B, con fines de monitoreo de señales analógicas. *Avances en Sistemas y Computación*, 25-30.
- Kai-Ta Hsieh a, P.-H. L. (2015). Automated on-line liquid-liquid extraction system for temporal mass spectrometric analysis of dynamic samples. *Analytica Chimica Acta*, 35-43.
- Luis Ortiz, M. P. (2017). Automated Robotic Liquid Handling Assembly of Modular DNA Devices. *Journal of Visualized Experiments*.
- Majors, R. E. (28 de Septiembre de 2018). *HPLC Column Technology: The First 50 Years*. (Labcompare) Recuperado el 27 de Agosto de 2024, de <https://www.labcompare.com/10-Featured-Articles/353029-HPLC-Column-Technology-The-First-50-Years/>
- Mendez, N. E. (2016). *Maquina de toma de muestras en el orden de los microlitros*. Puebla, Mexico: Benemerita Universidad Autonoma de Puebla.
- Mettler Toledo Raini. (2023). *NanoRep Gran precisión. Dosificación No Touch Off Manual de Instrucciones*. Oakland: Mettler-Toledo.
- Michael Groschl, A. M. (2017). A Liquid Handling Robot for Robust and Reproducible Preparation of . *Advances in Robotics & automation Standard and Quality Control Samples in Bioanalysis*.

- Michael Walther, P. M. (2015). An optimized measurement chamber for cantilever array measurements in liquid incorporating an automated sample handling system. *EPJ Techniques and Instrumentation*.
- Michal Alexovič, Y. D. (2018). Achievements in robotic automation of solvent extraction and related. *Journal of Chromatography B*, 402-421.
- Mojiz Abbas Trimzi, Y. B. (2020). Development of a Piezo-Driven Liquid Jet Dispenser with Hinge-Lever Amplification Mechanism. *micromachines*.
- Nongyue He, T. L. (2016). Technologies and Applications in Micro-Volume. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 58–66.
- Nongyue He, T. L. (2016). Technologies and Applications in Micro-Volume Liquid Handling. *Nanoscience and Nanotechnology*, 58–66.
- Omar Trejoluna Hernández, F. d. (2024). Enfoque multitareas implementado en una minicomputadora para el control y monitoreo de un motor a pasos industrial. *RITI Journal*, 4-15.
- Omar Trejoluna Hernández, F. d.-L. (2024). Control industrial de un motor a pasos usando tecnología frugal. *Avacient*, 11-21.
- Ron Majors, J. B. (09 de Octubre de 2020). *The Analytical Scientist* . (Techniques & Tools) Recuperado el 28 de Agosto de 2024, de <https://theanalyticalscientist.com/techniques-tools/the-top-10-game-changers-in-hplc-history>
- Ruiz Benitez, M. L. (03 de Agosto de 2020). *Cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) y cromatografía de gases (CG)*. Recuperado el 16 de Julio de 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.12442/7985>
- Takahiro Ando, M. H. (2018). Precise Dispensing Technology Using Electroformed Tubes for Micro-Volume Blood Diagnosis. *EEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*.
- Tecan Trading AG. (2016). *Tecan D300 Digital Dispenser* . Suiza : Tecan .

- Xianghua Chu, T. R. (2017). Flexible robot platform for sample preparation automation with a user-friendly interface. *2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)* (págs. 1-6). Qingdao, China: IEEE.
- Yanqi Wu, H. C. (2016). Development and Validation of an Automated Liquid Handling System for Sample Preparation Based on Multichannel Air Displacement Pipetting Technology. *Nanoscience and Nanotechnology*, 6867–6871.
- Yanqi Wu, H. C. (2016). Robotic Sample Preparation System Based on Magnetic Separation. *Nanoscience and Nanotechnology*, 12257–12262.
- Yufeng Yao, J. M. (2018). Application of Pressure Liquid Level Detection Technology in the Automatic Micropipette Module. *2018 2nd International Conference on Robotics and Automation Sciences*. Weihai, China: IEEE.
- Zeng, D., Wang, Z., Wang, M., Eichstaedt, O., & Yuan, H. (2017). Automatic bio-sampling system based on microinjection pump and pneumatic micro valves. *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*. Jinan, China: IEEE.

PRODUCTOS ACADÉMICOS

Modelo de utilidad

El modelo de utilidad titulado *"Sistema de extracción e inyección automatizado con supervisión en tiempo real basado en inteligencia artificial"* fue registrado ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

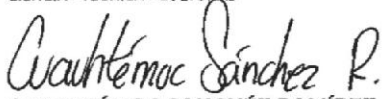
Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

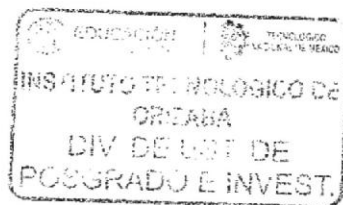
Orizaba, Veracruz, **01/noviembre/2023**
Asunto: Constancia
Modelo de Utilidad

El que suscribe Dr. Cuauhtémoc Sánchez Ramírez, hace CONSTAR que la invención titulada: **"SISTEMA DE EXTRACCIÓN E INYECCIÓN AUTOMATIZADO CON SUPERVISIÓN EN TIEMPO REAL BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL"**, la cual se encuentra en trámite de registro de Modelo de Utilidad ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial, a través del Centro de Patentamiento de este Centro, fue diseñada y construida por los Investigadores del Tecnológico Nacional de México: **Albino Martínez Sibaja**, Angélica Mara Bello Ramírez, Arturo Alvarado Lassmann, José Pastor Rodríguez Jarquín, Norma Alejandra Vallejo Cantú, Ofelia Landeta Escamilla, Rubén Posada Gómez y Aramis Tinoco Díaz.

Esta invención consiste en un dispositivo de extracción e inyección automática para la manipulación de sustancias en el orden de los microlitros mediante técnicas de cromatografía líquida, empleando algoritmos de inteligencia artificial para un monitoreo en tiempo real el volumen disponible en el recipiente de muestras, permitiendo estimar futuras inyecciones disponibles en relación al volumen restante, rangos de inyección en relación a la sustancia a analizar, notificaciones de estado de cada proceso el sistema, ofreciendo precisión y repetibilidad en cada inyección, por medio de una interfaz gráfica encargada de notificar cada proceso del sistema.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURAS


CUAUHTÉMOC SANCHEZ RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



Av. Oriente 9 Núm.852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: dir_orizaba@tecnm.mx tecnm.mx | orizaba.tecnm.mx



Artículo Científico

El artículo titulado "*Tendencias de la supervisión por cromatografía líquida basada en inteligencia artificial*" fue publicado en la revista *Agro-Divulgación* en el año 2024.

Agro-Divulgación



Tendencias de la supervisión por cromatografía líquida basada en inteligencia artificial

Tinoco-Díaz, Aramis de Jesús; Martínez-Sibaja, Albino*; Rodríguez-Jarquín, José Pastor; Bello-Ramírez, Angélica Mara; Posada-Gómez, Rubén

Tecnológico Nacional de México - Instituto tecnológico de Orizaba.

* Autor de correspondencia: albino.ms@orizaba.tecnm.mx

Introducción

El 60% de los productos lácteos elaborados en la región de Orizaba, Veracruz, México, son adquiridos por restaurantes asociados a la cámara nacional de la industria restaurantera y de alimentos condimentados (CANIRAC), lo que reitera la calidad de los productos elaborados dentro de la región. Pese a esto, la leche es considerada un alimento perecedero, a pesar de contar con altas condiciones de almacenamiento y transporte, es un hecho inevitable la presencia de lactobacilos fermentativos en cada mililitro almacenado de leche, dichos lactobacilos, con el tiempo, provocan acidez en el producto lácteo, por lo que hoy en día se contemplan mejores métodos de preservación para su posterior fabricación.

Producción de queso

En la elaboración de queso, la leche es sometida a un proceso de fermentación, provocado por el accionamiento de los lactobacilos presentes en el producto lácteo, en este proceso la lactosa, es transformada en ácido láctico, en donde se reduce el pH, se inhiben agentes patógenos, además de aportar protones (H^+), encargados de provocar la coagulación que neutraliza la estabilidad de las caseínas, en donde se consume de 10% a 20% de la lactosa, permitiendo la formación del queso. La eliminación de lípidos durante la fabricación del queso permite la formación de residuos denominados lactosuero.

Lacto suero

Es una sustancia líquida translúcida, producto de la separación del coágulo de leche en la producción de queso. El Lactosuero consta de 5% de lactosa, 93% agua, 0.85% proteína, 0.53% de minerales y 0.36% de grasa. El lactosuero al ser separado de la leche durante la fabricación del queso es considerado un residuo contaminante por su alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), esta demanda bioquímica de oxígeno se encuentra en un rango de 30,000-50,000 mg/L aproximadamente. Los desechos ya no pueden ser empleados para otra función, por lo que se han abordado propuestas de manipulación y reducción de residuos, siendo depositados en un digestor anaerobio de flujo ascendente.

Digestor anaerobio de flujo ascendente UASB

Propuesto en 1970, con el objetivo de tratar residuos orgánicos, el proceso emplea microorganismos para realizar una degradación biológica sin presencia de oxígeno (O_2). Esto

Cómo citar: Tinoco-Díaz, A. de J., Martínez-Sibaja, Albino*, Rodríguez-Jarquín, José Pastor; Bello-Ramírez, Angélica Mara; Posada-Gómez, Rubén. Tendencias de la supervisión por cromatografía líquida basada en inteligencia artificial. *Agro-Divulgación*, 4(3). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i3.324>

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iniguez.

Publicado en línea: Julio 2024.

Agro-Divulgación, 4(3). Mayo-Junio, 2024. pp: 79-87.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International

