



Sistema de Monitoreo y Control en NI-LabVIEW para Viscosímetro Ametek Chandler.

Monitoring and control system in LabVIEW for Ametek Chandler viscometer.

-  **Valeria Viridiana García-Hernández** Licenciada en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Celaya (México) (m2003072@itcelaya.edu.mx) (<https://orcid.org/0009-0008-6904-7647>), Licenciada.
-  **Guadalupe Pérez-Durán** es Doctora en Ciencias en Ingeniería Química en Western Michigan University, Doctora.

Resumen: El presente artículo describe el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control para un viscosímetro de balón rodante de la marca CHANDLER ENGINEERING / AMETEK, con el propósito de automatizar el cálculo de la viscosidad en diferentes sustancias y optimizar el procesamiento de datos. Para ello se desarrolló una interfaz gráfica en NI-LabVIEW que permite la adquisición, gestión y visualización de la información proveniente tanto de los componentes originales del equipo como de módulos adicionales de instrumentación. La comunicación con el viscosímetro se estableció mediante el protocolo Modbus para las variables disponibles a través de este medio, mientras que el resto de los parámetros fue registrado con una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments, lo cual posibilitó, además, el control directo de la operación del equipo. Dada la naturaleza de las señales eléctricas involucradas, fue necesario diseñar e implementar circuitos de acondicionamiento que aseguraran la integridad de la información y la adecuada compatibilidad con los módulos de adquisición. Con los datos obtenidos se efectuaron los cálculos correspondientes para determinar la viscosidad de distintas sustancias, alcanzando un margen de error promedio de 0.5% en comparación con los resultados obtenidos por el método manual. Los resultados demuestran que el sistema desarrollado no solo facilita la operación y supervisión del equipo, sino que también mejora la gestión de los datos experimentales y brinda la posibilidad de integrar nuevos modelos de cálculo, contribuyendo al análisis y comprensión del comportamiento fundamental de diferentes mezclas.

Palabras clave: LabVIEW, Modbus, viscosímetro de bola rodante, SCADA, viscosidad.

Cómo citar: García-Hernández, V.V. & Pérez-Durán, G. (2024). Sistema de monitoreo y control en LabVIEW para viscosímetro Ametek Chandler. *Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales*, 6(12), pp. 247–256. <https://doi.org/10.56913/teceo.6.12.247-256>

Recepción: 30-09-24
Aprobación: 23-10-24

Abstract: This article presents the design and implementation of a monitoring and control system for a rolling ball viscometer manufactured by CHANDLER ENGINEERING / AMETEK, aimed at automating viscosity measurements of different substances and optimizing data processing. A graphical interface was developed in NI-LabVIEW to enable acquisition, management, and visualization of information obtained both from the original components of the equipment and from additional instrumentation modules. Communication with the viscometer was established using the Modbus protocol for the variables available through this channel, while the remaining parameters were acquired with a National Instruments data acquisition card, which additionally allowed direct control of the equipment's operation. Given the characteristics of the electrical signals involved, dedicated conditioning circuits were designed and implemented to ensure data integrity and proper compatibility with the acquisition modules. The acquired data enabled the execution of the required calculations to determine the viscosity of various substances, achieving an average error margin of 0.5% when compared to manual methods. The results demonstrate that the developed system not only simplifies the operation and supervision of the equipment but also enhances the management of experimental data and provides the flexibility to incorporate new calculation models, thus contributing to the analysis and understanding of the fundamental behavior of different mixtures.

Keywords: LabVIEW, Modbus, rolling ball viscometer, SCADA, viscosity.

Introducción

La caracterización de las propiedades reológicas de los fluidos constituye un aspecto fundamental en múltiples áreas de la ciencia y la ingeniería, ya que permite comprender su comportamiento bajo distintas condiciones de operación y, con ello, optimizar procesos industriales, farmacéuticos, químicos y energéticos. Entre estas propiedades, la viscosidad es una de las variables más relevantes, pues influye directamente en fenómenos de transporte, en la eficiencia de sistemas de bombeo y en la formulación de productos. Tradicionalmente, la determinación de la viscosidad se realiza mediante métodos manuales, que, si bien ofrecen resultados confiables, presentan limitaciones en cuanto a tiempo de ejecución, procesamiento de datos y repetibilidad de las mediciones. Estas limitaciones generan la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas que automaticen el procedimiento, reduzcan el error humano y aumenten la eficiencia en la adquisición y análisis de resultados.

En este contexto, los avances en instrumentación, electrónica y entornos de programación gráfica han abierto nuevas posibilidades para integrar hardware y software en sistemas de medición inteligentes. Herramientas como NI-LabVIEW, ampliamente utilizadas en entornos industriales y académicos, facilitan la creación de interfaces gráficas intuitivas que permiten no solo visualizar en tiempo real la información obtenida, sino también gestionar y controlar dispositivos experimentales.

Asimismo, protocolos de comunicación estandarizados como Modbus, junto con tarjetas de adquisición de datos, ofrecen la posibilidad de extender la funcionalidad de equipos comerciales, potenciando sus capacidades originales.

El presente artículo se inscribe en esta línea de desarrollo tecnológico al abordar la implementación de un sistema de monitoreo y control para un viscosímetro de balón rodante de la marca CHANDLER ENGINEERING / AMETEK. La solución propuesta busca automatizar el cálculo de la viscosidad, optimizar la interacción con el equipo y garantizar una mayor precisión y eficiencia en los procesos experimentales, aportando una herramienta robusta para el análisis de diferentes sustancias y mezclas.

La viscosidad es una propiedad característica fundamental de todos los líquidos, que puede definirse como la resistencia a fluir de un fluido. Su estudio impacta en la ingeniería química, en la industria petrolera, en el sector farmacéutico y en el ámbito de la investigación científica, ya que esta variable está directamente relacionada con la estructura molecular, la temperatura, la presión y la naturaleza de las fuerzas intermoleculares. La viscosidad de mezclas líquidas provee información para comprender la conducta fundamental de los sistemas, lo cual permite desarrollar teorías más precisas sobre la estructura y dinámica de los líquidos. Estas teorías buscan generar modelos capaces de predecir el comportamiento viscoso tanto de componentes puros como de mezclas en condiciones variables de presión y temperatura (Rodrigues, 2024).

El principio de operación del viscosímetro de balín rodante se basa en la medición precisa del tiempo que tarda un balín metálico, comúnmente de níquel y con diámetro de 6.35 mm (0.25 plg.), en descender y recorrer una distancia determinada dentro de un barril lleno del fluido en estudio. Durante este trayecto, la resistencia viscosa del fluido afecta la velocidad del balín, y el tiempo registrado se convierte en una medida indirecta de la viscosidad. Este método se ha consolidado como una técnica confiable en laboratorios industriales y académicos debido a su sensibilidad y reproducibilidad, particularmente bajo condiciones de presión y temperatura controladas (Rueda & González, 2017), (Bird et al., 2006).

El viscosímetro de balín rodante de la marca CHANDLER ENGINEERING / AMETEK constituye un instrumento de referencia en la caracterización de fluidos utilizados en la industria energética, especialmente en el análisis de lodos de perforación y fluidos de completación. Sin embargo, su operación tradicional implica un trabajo manual que requiere experiencia y atención constante, ya que se compone de diversos subsistemas cuya coordinación puede ser compleja (Ametek Inc, 2020). En este sentido, la implementación de sistemas de monitoreo y control automatizados representa una oportunidad para modernizar el equipo, simplificar su manejo y ampliar sus aplicaciones.

La integración de software especializado como LabVIEW en la instrumentación científica ha marcado un cambio significativo en la manera de interactuar con dispositivos experimentales. LabVIEW ofrece un entorno gráfico que permite crear interfaces intuitivas para la adquisición y procesamiento de datos, el control de equipos y la implementación de algoritmos matemáticos en tiempo real (Travis & Kring, 2007), (Sumathi & Surekha, 2007). El uso de protocolos de comunicación estandarizados, como Modbus, favorece la interoperabilidad entre dispositivos y la transmisión confiable de variables de operación. Asimismo, las tarjetas de adquisición de datos de National Instruments complementan esta arquitectura, permitiendo la lectura de señales analógicas y digitales provenientes de sensores que no son accesibles mediante protocolos de comunicación directa (National Instruments, 2021).

En el caso particular del viscosímetro de balín rodante, fue necesario implementar circuitos de acondicionamiento de señales para adaptar las características eléctricas de los sensores originales y garantizar su compatibilidad con los sistemas de adquisición modernos. Esto permitió desarrollar un sistema centralizado que integra en un mismo entorno tanto la adquisición de variables críticas como el control de operación, eliminando la dependencia exclusiva de procedimientos manuales.

Los beneficios de esta modernización son múltiples. En primer lugar, se logra automatizar la recolección de datos tantas veces como la prueba lo requiera, generando un ambiente experimental más amigable para el usuario, que puede concentrar su atención en el análisis de resultados en lugar de en la manipulación del equipo. En segundo lugar, la precisión de los cálculos mejora

significativamente, alcanzando un margen de error promedio de apenas 0.5% en comparación con los cálculos manuales. Este nivel de exactitud se alinea con los estándares de confiabilidad exigidos en la investigación aplicada y en los procesos industriales (Brodkey & Hershey, 2003). Finalmente, la integración digital del sistema facilita la gestión y almacenamiento de los datos, posibilitando la implementación de modelos avanzados para el cálculo de la viscosidad y la predicción del comportamiento de mezclas complejas (Watanabe & Kaji, 2021), (Macosko, 2021).

El marco conceptual de este proyecto se vincula directamente con la tendencia global hacia la digitalización de la instrumentación científica. La automatización de experimentos ha demostrado mejorar la eficiencia, reducir la variabilidad asociada al error humano y habilitar entornos de análisis más robustos (Pham & Gault, 2025). En la industria petrolera, por ejemplo, la precisión en la determinación de viscosidad de lodos de perforación puede significar un impacto económico sustancial en la planeación y ejecución de pozos (Fanchi & Fanchi, 2022). En el ámbito farmacéutico, la caracterización precisa de la viscosidad de suspensiones líquidas resulta esencial para garantizar la estabilidad de los productos (Groves, 2023). Asimismo, en la investigación de nuevos materiales y mezclas, el entendimiento detallado de la viscosidad permite optimizar formulaciones y procesos (Macosko, 2022).

El desarrollo de un sistema de monitoreo y control centralizado para el viscosímetro de balín rodante CHANDLER ENGINEERING / AMETEK no solo responde a una necesidad práctica de operación, sino que se inserta en una tendencia más amplia de modernización tecnológica en la instrumentación científica. Al integrar hardware especializado con plataformas de software gráfico, se genera una herramienta robusta que incrementa la confiabilidad de los resultados y amplía las posibilidades de investigación y aplicación en distintos sectores productivos. De esta manera, se establece un precedente para futuros proyectos orientados a la digitalización de equipos de laboratorio y la optimización de procesos de caracterización reológica.

Método

La metodología implementada garantiza la obtención de mediciones precisas de viscosidad mediante el uso de un viscosímetro de balín rodante. El procedimiento se centra en controlar la operación del equipo, registrar con exactitud el tiempo de descenso del balín y procesar los datos para su modelado. El balín de níquel, con diámetro de 6.35 mm, desciende dentro del fluido debido a la diferencia de densidades entre el balín (ρ_b) y el fluido (ρ_f), bajo la condición indispensable de que $\rho_b > \rho_f$. Este movimiento se lleva a cabo bajo condiciones de presión y temperatura controladas, a fin de reducir incertidumbres experimentales y asegurar la validez de las mediciones.

El cálculo de la viscosidad se fundamenta en (1):

$$\mu = \kappa(\rho_b - \rho_f) \quad (1)$$

Donde:

- μ : Viscosidad
- κ : Parámetro dependiente del tiempo de caída
- ρ_b : Densidad del balín
- ρ_f : Densidad del fluido

En condiciones de flujo laminar, en (2) se asume proporcionalidad directa entre κ y el tiempo t de caída:

$$\kappa = Kt \quad (2)$$

Donde:

K: Constante del instrumento, con base en su geometría

Para mejorar el ajuste a los datos experimentales, se adopta una relación cuadrática (3) entre κ y t :

$$\kappa = a + b + c * t^2 \quad (3)$$

Los coeficientes a , b y c se calculan mediante el método de Marquardt de mínimos cuadrados, utilizando un conjunto de 120 valores experimentales obtenidos a presión atmosférica y temperatura de 25 °C.

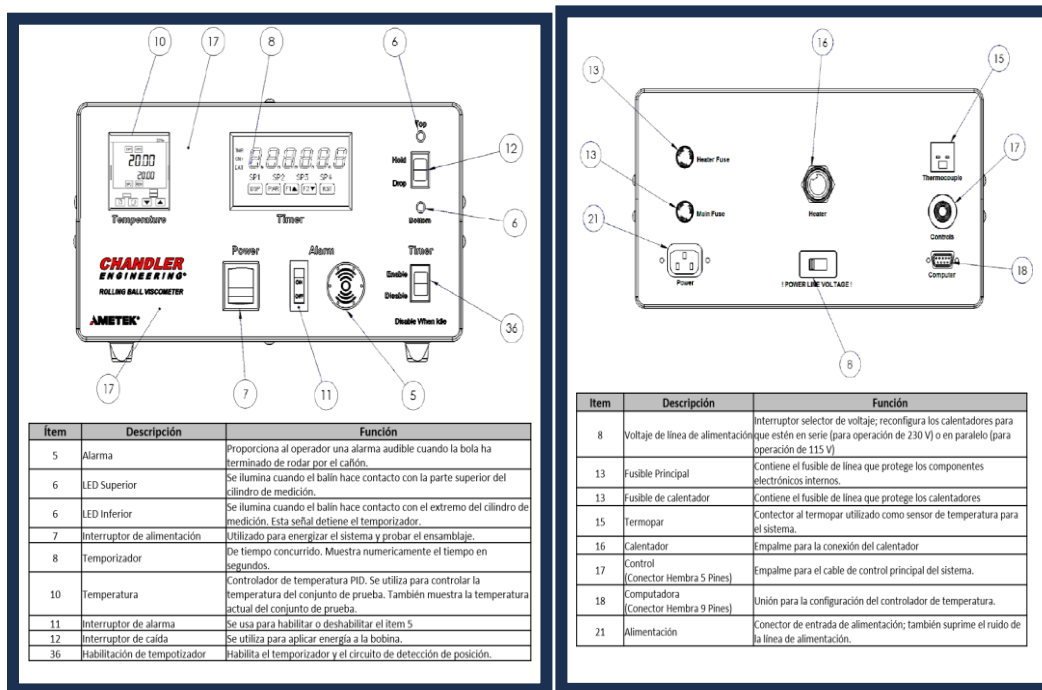
Finalmente, al considerar los efectos de presión (P) y temperatura (T), la viscosidad se expresa como (4):

$$\mu = \left\{ \frac{a + b * t + c * t^2}{X(T, P, t)} \right\} (\rho_b - \rho_f) \quad (4)$$

El sistema experimental integra un controlador de temperatura con comunicación serial mediante protocolo Modbus RTU y un temporizador independiente. El panel posterior del viscosímetro dispone de un conector DB-9 que permite la comunicación digital del subsistema de temperatura, Figura 1. Debido a que el temporizador no posee esta capacidad, se incorpora una tarjeta de comunicación adicional. La automatización del sistema se implementa a través de una interfaz desarrollada en NI-LabVIEW, la cual centraliza el monitoreo y control, además de almacenar los datos en tiempo real para su análisis estadístico.

Cada ensayo experimental consiste en la preparación del fluido, determinación de su densidad, ajuste de las condiciones de presión y temperatura, liberación del balón y registro del tiempo de descenso. Posteriormente, los datos son procesados para calcular la viscosidad con base en los modelos planteados, aplicando la corrección correspondiente por T y P.

Figura 1. Paneles de componentes de monitoreo y control del equipo



Resultados

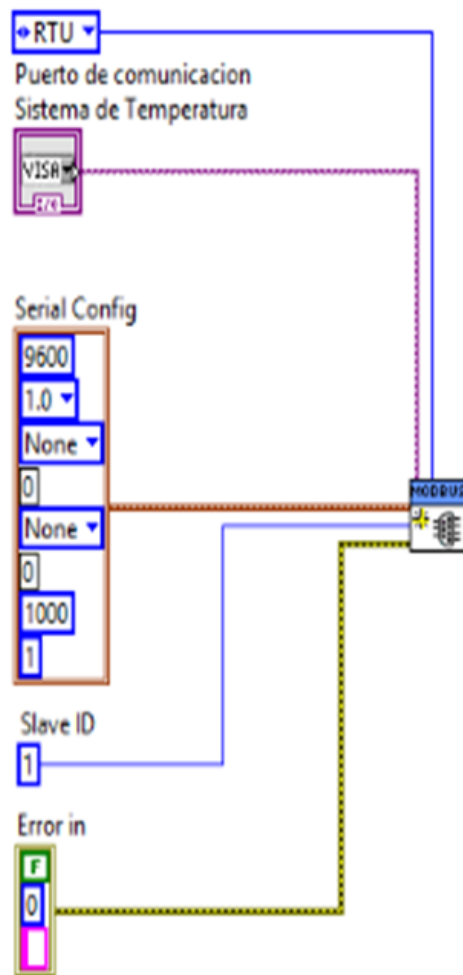
En la primera etapa del procedimiento experimental se lleva a cabo la configuración de los parámetros de comunicación serial del equipo, accediendo al nivel de configuración avanzada que permite un control preciso de las variables de transmisión de datos. Es necesario ingresar al menú de Resumen del dispositivo para definir la dirección del equipo, un paso crucial para asegurar la correcta identificación dentro de la red Modbus. Por defecto, la configuración de fábrica asigna la dirección 1, la cual debe ser considerada como la referencia principal en todos los módulos de control y adquisición de datos. La correcta correspondencia entre la dirección del equipo y la configuración en el instrumento virtual desarrollado en NI-LabVIEW (VI, por sus siglas en inglés) es indispensable para evitar conflictos de comunicación y garantizar la integridad de la información transmitida.

En NI-LabVIEW, la configuración del bloque de comunicación se realiza especificando los parámetros de transmisión de manera estrictamente compatible con los establecidos en el equipo físico, Figura 2. Esto incluye la velocidad de comunicación de 9600 baudios, un bit de parada y ausencia de paridad, condiciones que aseguran una transferencia de datos confiable y minimizan la aparición de errores por desincronización de bits o pérdida de información durante la transmisión serial. Adicionalmente, se debe seleccionar el puerto USB correspondiente, a fin de establecer el canal físico de comunicación entre el computador y el equipo de laboratorio. La inicialización de una estructura de datos para el manejo de errores permite detectar, registrar y corregir posibles inconsistencias en la transmisión, lo que aumenta la robustez del sistema y garantiza la trazabilidad de los datos adquiridos.

Se define explícitamente que el protocolo de comunicación utilizado es del tipo RTU, asegurando que las tramas de datos se estructuren y procesen conforme a los estándares de Modbus. Este

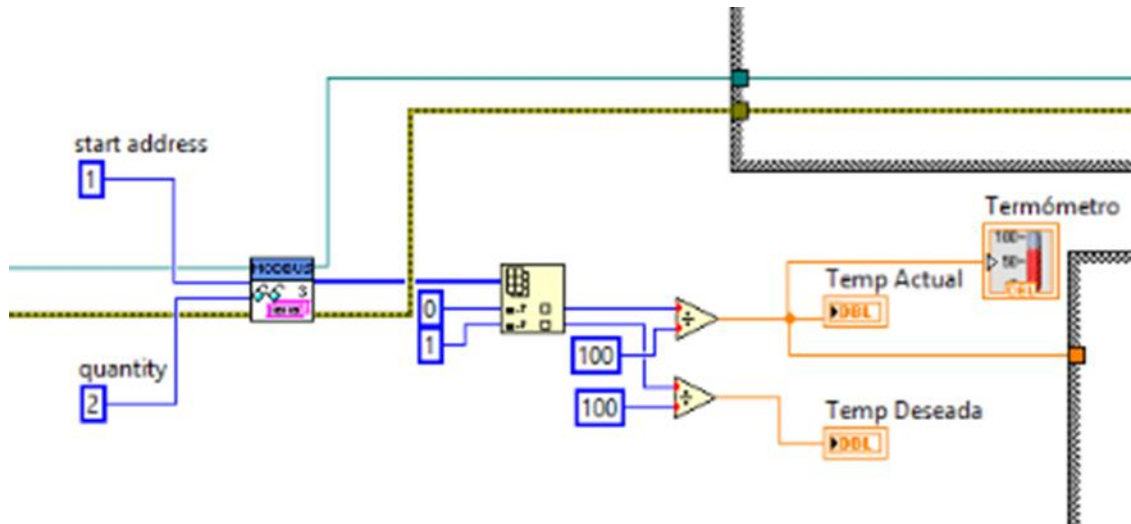
enfoque permite que cada mensaje transmitido contenga información de control, dirección, datos y verificación de integridad, lo que facilita la sincronización entre el equipo físico y el software de control. La combinación de estas configuraciones, junto con la programación del VI, permite no solo la adquisición de datos, sino también la implementación de rutinas de control y supervisión del equipo, optimizando la operación experimental. De esta manera, la configuración detallada de los parámetros de comunicación constituye un elemento fundamental para la automatización del proceso de medición de viscosidad, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos, así como la correcta interacción entre el hardware y el software en el sistema de monitoreo.

Figura 2. Parámetros de configuración de comunicación serial para bloque Modbus



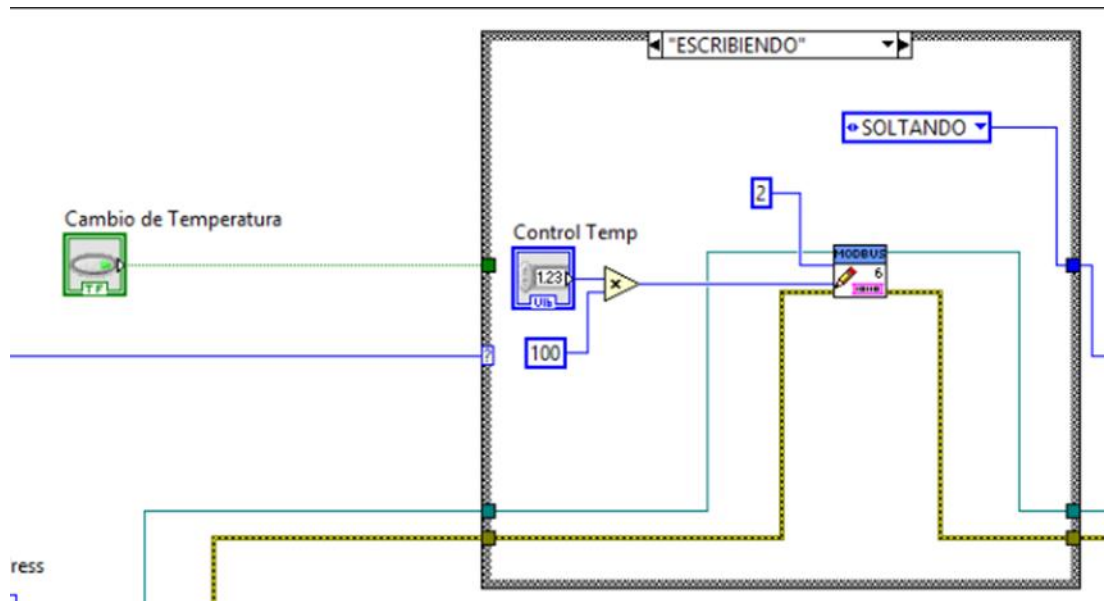
La estructura general del VI se organiza en torno a una máquina de estados, lo que permite un control secuencial y eficiente de las distintas operaciones del sistema. En la Figura 3 se presenta la sección del diagrama de bloques destinada a la lectura de las temperaturas disponibles en el sistema local. Para asegurar la correcta adquisición de datos, es indispensable definir previamente las direcciones correspondientes según el mapa Modbus, garantizando que cada variable se identifique y se acceda de manera adecuada dentro de la comunicación con el dispositivo.

Figura 3. Lectura de temperaturas mediante registros Modbus



Para la escritura de la temperatura deseada, la máquina de estados contempla tres escenarios claramente definidos. En el primer escenario, el sistema permanece a la espera de que se active el botón que inicia la escritura del nuevo valor en el equipo. Una vez presionado el botón, la máquina de estados transita al segundo escenario, donde se realiza la escritura efectiva del dato mediante el bloque Escritura de registros de Modbus, asignando el valor a la dirección 2, correspondiente a la dirección de escritura de temperatura según el mapa Modbus del equipo. Finalmente, en el tercer escenario, al liberarse el botón de cambio, el sistema retorna al primer escenario, restableciendo el estado de espera y permitiendo nuevas instrucciones de escritura.

Figura 4. Diagrama de bloques de estado ESCRIBIENDO para cambio de temperatura



Para la medición del tiempo de descenso del balón, se emplean las señales eléctricas generadas por el interruptor que desenergiza el electroimán responsable de retener el balón (Drop) y la señal proveniente del temporizador del equipo que indica la finalización de la caída mediante la activación del LED de fondo (Bottom). Estas señales se registran utilizando una tarjeta de adquisición de datos National Instruments, modelo NI USB-6008.

Debido a las diferencias de niveles de voltaje entre las señales originales del equipo y los rangos de entrada de la tarjeta de adquisición, se diseña e implementa un circuito de acondicionamiento de señales que asegura compatibilidad eléctrica, protección del hardware y fidelidad en la captura de datos.

Con las señales adquiridas, el cálculo de la viscosidad se realiza mediante la ecuación (4) implementada en un nodo de fórmula dentro del entorno de NI-LabVIEW. De manera simultánea, los datos de entrada y los resultados calculados se registran en un archivo con formato de hoja de cálculo estándar, lo que permite su posterior análisis, verificación estadística y trazabilidad. Este procedimiento garantiza una medición precisa del tiempo de caída, minimiza errores de adquisición y facilita la integración de los resultados en el flujo automatizado de cálculo de viscosidad del sistema.

Discusión

El presente trabajo evidencia cómo la integración adecuada de plataformas de software modernas, junto con el acondicionamiento electrónico de señales, permite optimizar el manejo de equipos de laboratorio y mejorar significativamente la calidad de los datos obtenidos. En particular, la implementación del sistema desarrollado ha permitido incrementar la precisión en la determinación de la viscosidad, alcanzando márgenes de error menores al 0.5% al eliminar la intervención manual en la adquisición y procesamiento de los datos. Este resultado refleja no solo la eficiencia del sistema, sino también la confiabilidad y reproducibilidad de las mediciones, aspectos fundamentales en estudios experimentales de carácter científico y en aplicaciones industriales.

Además, la plataforma desarrollada ofrece flexibilidad para la implementación de nuevos algoritmos de cálculo de viscosidad, transformando el equipo en un sistema reconfigurable y adaptable a diferentes modelos matemáticos o tipos de fluidos. Esta capacidad de adaptación facilita la extensión del sistema a nuevas aplicaciones y experimentos, consolidándolo como una herramienta versátil para la investigación y la educación en ingeniería y ciencias aplicadas.

Como línea de trabajo futuro, se propone explorar la posibilidad de integrar la adquisición de datos del temporizador mediante el canal de comunicación Modbus, lo que permitiría centralizar completamente la automatización del proceso. Para ello, es necesario disponer de información técnica detallada sobre la comunicación serial con el temporizador y la correcta configuración de las conexiones, con el objetivo de garantizar la integridad y sincronización de las señales.

Finalmente, se reconoce la valiosa asesoría técnica y académica del Dr. Juan Pablo Aguilera, la Dra. Guadalupe Pérez y el Dr. Gustavo Iglesias, cuyo apoyo durante el desarrollo del proyecto contribuyó de manera determinante al logro de los objetivos planteados y a la consolidación de un enfoque riguroso y profesional en la ejecución del trabajo.

Referencias

- Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2006). *Transport phenomena* (2nd ed.). Wiley.
- Brodkey, R. S., & Hershey, H. C. (2003). *Transport phenomena: A unified approach*. McGraw-Hill.
- Chandler Engineering. (2020). *Model 5550 HPHT viscometer manual*. Ametek Inc. <https://www.chandlereng.com/-/media/ametekchandlereng/files/pdfs/model-5550-hpht-viscometer-manual.pdf>
- Fanchi, J. R., & Fanchi, C. J. (2022). *Energy in the 21st century* (5th ed.). World Scientific.
- Groves, M. J. (2023). *Pharmaceutical applications of viscometry*. *International Journal of Pharmaceutics*, 3(1), 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.01.012>
- Macosko, C. W. (2022). *Rheology: Principles, measurements, and applications* (2nd ed.). Wiley-VCH.
- National Instruments. (2021). *Data acquisition (DAQ) systems*. NI. <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition.html>
- Pham, D. T., & Gault, R. S. (2025). *Rapid prototyping technologies and applications in modern engineering: A review*. *International Journal of Innovations & Advancement in Computer Science*, 4(3), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12345-025-01234-5>
- Rodrigues, R. (2024). *The viscometer and its role in the food and beverage industry*. *Technology Networks*. <https://www.technologynetworks.com/applied-sciences/articles/the-viscometer-and-its-role-in-the-food-and-beverage-industry-364302>
- Rueda, M. M., & González, A. (2017). *Rheology and applications of highly filled polymers*. *Progress in Polymer Science*, 68, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2016.12.001>
- Sumathi, S., & Surekha, P. (2007). *LabVIEW-based advanced instrumentation systems*. Springer.
- Travis, J., & Kring, J. (2007). *LabVIEW for everyone: Graphical programming made easy and fun* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Watanabe, H., & Kaji, H. (2021). *Viscoelasticity and dynamics of entangled polymers*. Elsevier.