

**Desarrollo de un computador de flujo para la calibración de medidores de flujo de líquidos
usando PLC**

Carlos Yesid Rodríguez Caro

Helber Yesid Rojas Caicedo

Asesor

Néstor Javier Rodríguez García

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2026

Agradecimientos

Agradecemos a LYRControl SAS, compañía financiadora del proyecto, por su apoyo esencial para el desarrollo de esta iniciativa. Asimismo, expresamos nuestro reconocimiento a Menthor Service Group, cuyo laboratorio acreditado brindó los espacios y equipos necesarios para la realización de las pruebas del sistema de calibración. Su colaboración fue clave para la ejecución y culminación exitosa del proyecto.

Resumen

Los computadores de flujo comerciales utilizados en la medición dinámica de líquidos y gases cumplen estándares internacionales como API MPMS y AGA para la corrección de volumen a condiciones estándar y la gestión de procesos de calibración en línea mediante probadores y medidores de flujo maestro (Máster Meter). Sin embargo, su alto costo limita su adquisición por parte de laboratorios de calibración e industrias con recursos económicos limitados. En este proyecto se desarrolló un computador de flujo basado en un Controlador Lógico Programable - PLC marca Siemens modelo S7-1200, integrando un hardware industrial, módulos de adquisición de señales (señales de corriente y señales de pulsos) y una interfaz de usuario en plataforma Windows, con el fin de implementar funciones de registro, cálculo y corrección necesarias para la liquidación de volumen, conforme con la normativa técnica aplicable. La metodología incluyó análisis normativo aplicable al proceso de liquidación de volumen, diseño y arquitectura de hardware y software, configuración del PLC que incluyó desarrollo de algoritmos de cálculo, implementación y validación funcional mediante pruebas de calibración por el método de medidor maestro (Máster Meter). Como resultado de la implementación, se logró obtener un sistema de computador de flujo funcional y de menor costo, capaz de automatizar el proceso de calibración y reducir significativamente los tiempos de ejecución frente a métodos manuales, manteniendo trazabilidad y consistencia en los cálculos.

El presente documento se organiza en varias secciones. En primer lugar, se presenta el planteamiento del problema, junto con los objetivos, la justificación, el marco teórico y el estado del arte que sustentan el desarrollo del proyecto. Posteriormente, se describe la metodología aplicada para el desarrollo del sistema. A continuación, se expone el diseño e implementación de la solución propuesta. Seguidamente, se presentan las pruebas realizadas y los resultados

obtenidos durante la implementación. Finalmente, se presentan las conclusiones derivadas del desarrollo del proyecto.

Palabras clave: controlador lógico programable, medidores de flujo, calibración, medidor maestro

Abstract

Commercial flow computers used in the dynamic measurement of liquids and gases comply with international standards such as API MPMS and AGA Standards for volume correction to standard conditions and for the management of online calibration processes using provers and master flow meters. However, the high cost of these systems limits their acquisition by calibration laboratories and industries with limited financial resources.

In this project, a flow computer based on a Siemens S7-1200 Programmable Logic Controller (PLC) was developed. The system integrates industrial hardware, signal acquisition modules for current signals and pulse signals, and a user interface implemented on a Windows platform. The objective was to implement data logging, calculation, and correction functions required for corrected volume determination and reporting in accordance with the applicable technical standards.

The methodology included a regulatory analysis of the standards applicable to dynamic liquid measurement and volume calculation, the design and architecture of the hardware and software, PLC configuration including the development of calculation algorithms, and system implementation and functional validation through calibration tests using the master meter method.

As a result of the implementation, a functional and lower-cost flow computer system was obtained. The system is capable of automating the calibration process and significantly reducing execution times compared to manual methods while maintaining traceability and consistency in the calculations.

This document is organized into several sections. First, the problem statement is presented along with the objectives, justification, theoretical framework, and state of the art

supporting the development of the project. Next, the methodology applied to the development of the system is described. Subsequently, the design and implementation of the proposed solution are presented. Then, the tests performed and the results obtained during the implementation are discussed. Finally, the conclusions derived from the project are presented.

Keywords: programmable logic controller, flow meters, calibration, master meter

Tabla de Contenido

Introducción	14
Descripción del Problema	16
Pregunta de Investigación.....	20
Justificación	21
Objetivos	23
Objetivo General.....	23
Objetivos Específicos	23
Marco Teórico.....	24
Computadores de Flujo.....	24
Calibración de Medidores de Flujo	24
Método Máster Meter	25
Condiciones Estándar o Normalizadas en la Medición de Líquidos	26
PLC y Automatización Industrial	27
Metrología y Trazabilidad en Medición de Caudal	28
Normas y Regulaciones en la Medición de Flujo.....	28
Terminología General.....	29
Estado del Arte y Antecedentes	31
Metodología	36
Enfoque y Diseño del Estudio	36
Método de Estadística y Análisis de Datos	36
Metodología de Desarrollo	36
Análisis Normativo y Técnico.....	38

API MPMS Capítulo 4.8.....	38
API MPMS Capítulo 12.2.....	39
Requerimientos del Diseño de la Solución.....	40
Desarrollo de la Solución.....	43
Desarrollo del Hardware.....	43
Instrumentación (No hace parte del desarrollo).....	44
Planos.....	45
Descripción de Componentes y Montaje.....	46
Comunicaciones entre Hardware y Software.....	47
Comunicación y Configuración con el PLC:.....	47
Comunicación con el Software Desarrollado HMI (Interfaz de Operador o Usuario):.....	47
Desarrollo del Software.....	48
Programación PLC S7 1200 Siemens.....	49
Programación Interfaz Humano Máquina (HMI).....	50
Programación Visual del Lado del Operador (Frontend).....	50
Programación código fuente (backend).....	58
Desarrollo e Implementación.....	58
Integración de Hardware y Software.....	58
Adquisición de Datos.....	59
Control y Procesamiento en PLC.....	60
Comunicación.....	60
Interfaz de Usuario (HMI).....	61
Ciclo Completo de Calibración.....	61

Pruebas y Validación Funcional	63
Resultados.....	68
Conclusiones.....	73
Referencias Bibliográficas	75
Apéndices.....	79

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Precios de Entrada de los Computadores de Flujo</i>	17
Tabla 2 <i>Errores en Calibraciones Manuales e Impactos</i>	18
Tabla 3 <i>Error de la Medición en la Industria</i>	20
Tabla 4 <i>Requerimientos y Especificación de la Solución.</i>	40
Tabla 5 <i>Resultados Pruebas Manuales y Automatizadas, Evaluando el MF</i>	65
Tabla 6 <i>Resultados Pruebas Manuales y Automatizadas, Evaluando Tiempos.</i>	67
Tabla 7 <i>Resultados Estadísticos de las Diferencias entre MF Manuales vs PLC</i>	68
Tabla 8 <i>Organización de los Documentos de Soporte</i>	79

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Cotización Computador de Flujo ROC 809 de Marca Emerson</i>	17
Figura 2	<i>Montaje para calibración por método máster meter.</i>	26
Figura 3	<i>Metodología del Desarrollo del Proyecto</i>	37
Figura 4	<i>Plano Tablero Eléctrico Realizado en CADe_SIMU.</i>	45
Figura 5	<i>Ensamble Tablero Eléctrico</i>	46
Figura 6	<i>Conexión física PLC S7 1200 y computador portátil</i>	47
Figura 7	<i>Diagrama de Flujo Procedimiento de Calibración Método Máster Meter</i>	48
Figura 8	<i>TIA Portal Programa, Bloque de Registro y Control de la Calibración</i>	49
Figura 9	<i>HMI Pantalla Información General</i>	51
Figura 10	<i>HMI Pantalla Entradas y Salidas de del PLC</i>	52
Figura 11	<i>HMI Pantalla Calibración Entradas Análogas</i>	53
Figura 12	<i>HMI Pantalla Configuración Medidor Maestro</i>	54
Figura 13	<i>HMI Pantalla Configuración Instrumento Bajo Calibración</i>	55
Figura 14	<i>HMI Pantalla Configuración de Prueba</i>	56
Figura 15	<i>HMI Pantalla Proceso de Calibración</i>	57
Figura 16	<i>HMI Pantalla de Resultados</i>	58
Figura 17	<i>Bloque de Función PLC</i>	59
Figura 18	<i>Almacenamiento de Datos en DB (Bases de Datos)</i>	60
Figura 19	<i>Bloque de Función Transmisión de Datos TCP/IP</i>	61
Figura 20	<i>Ciclo Completo de Calibración</i>	62
Figura 21	<i>Registro Manual de la Prueba a 50 gal/min</i>	63
Figura 22	<i>Tiquete de Resultados Emitido por el Software Desarrollado</i>	64

Figura 23 <i>Determinación Tiempo de Calibración Método Manual</i>	66
Figura 24 <i>Determinación Tiempo Usando el Método Automatizado con PLC</i>	66
Figura 25 <i>Gráfica Comparación Método Manual y Método Usando PLC</i>	69
Figura 26 <i>Gráfica Diferencia del Factor de Medición en Función del Caudal de Prueba</i>	70
Figura 27 <i>Gráfica Análisis de Concordancia Bland–Altman</i>	71
Figura 28 <i>Gráfica Comparación Tiempo de Calibración Usando los Dos Métodos</i>	72

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Pruebas Funcionales del Sistema</i>	79
--	----

Introducción

La medición de caudal de líquidos constituye una actividad crítica en múltiples sectores industriales, debido a su impacto directo sobre el control de procesos, la trazabilidad metrológica, la gestión de inventarios y la facturación de productos. En aplicaciones como la transferencia de custodia, los balances de volumen y la verificación del desempeño de medidores, pequeñas desviaciones en la medición pueden traducirse en pérdidas económicas significativas, inconsistencias operativas y conflictos técnicos o regulatorios.

En la práctica industrial, la calibración de medidores de flujo puede realizarse mediante distintos métodos, entre ellos los métodos gravimétricos, volumétrico y de medidor maestro (máster meter). Este último ha sido ampliamente adoptado en aplicaciones dinámicas por su flexibilidad operativa, su integración con esquemas automatizados y su reconocimiento dentro de marcos normativos internacionales como el API Manual of Petroleum Measurement Standards (American Petroleum Institute [API], 2021, 2025).

A pesar de la existencia de computadores de flujo comerciales y sistemas especializados de calibración, muchas de estas soluciones presentan costos elevados de adquisición, configuración y mantenimiento. Como consecuencia, laboratorios de calibración e industrias con recursos limitados continúan empleando procedimientos manuales o semiautomatizados para la toma de datos, la ejecución de corridas y el procesamiento de resultados, aumentando la posibilidad de errores humanos, variabilidad operacional y tiempos improductivos.

En este contexto, el desarrollo de alternativas basadas en hardware industrial estándar, como los controladores lógicos programables (PLC), representa una oportunidad para reducir costos sin renunciar a condiciones mínimas de robustez, integración y confiabilidad. Si bien un PLC no reemplaza por sí solo todas las funciones de un computador de flujo comercial, sí puede

constituirse en el núcleo de una arquitectura híbrida capaz de adquirir señales, ejecutar secuencias de control, registrar variables de proceso y comunicarse con un software externo para cálculo, visualización y generación de reportes (Rockwell Automation, 2020; Siemens, 2021).

El presente trabajo desarrolla un computador de flujo basado en un PLC Siemens S7-1200 y una interfaz de usuario implementada en Windows Forms, orientado a la calibración de medidores de flujo de líquidos mediante el método máster meter. La propuesta se fundamenta en el análisis de las normas API MPMS aplicables al proceso de proving (prueba) y a los cálculos de volumen corregido, y se valida experimentalmente mediante la comparación entre el método manual y el sistema automatizado desarrollado. De esta manera, el estudio busca aportar una alternativa funcional y de menor costo para laboratorios e industrias que requieren mejorar la eficiencia, la repetibilidad y la trazabilidad de sus procesos de calibración.

Descripción del Problema

En el ámbito industrial y metrológico, la exactitud en la medición de caudal es un requisito esencial para garantizar eficiencia operativa, control de calidad, trazabilidad y cumplimiento normativo. En sectores como hidrocarburos, química de procesos y servicios de calibración, los errores de medición afectan directamente la confiabilidad de inventarios, balances de proceso, liquidación de volúmenes y facturación. Por ello, la calibración de medidores de flujo constituye una actividad crítica dentro del aseguramiento metrológico.

Una de las técnicas más utilizadas para la calibración dinámica de medidores de flujo de líquidos es el método de medidor maestro (máster meter), reconocido en la normativa API MPMS por su aplicabilidad industrial y su capacidad para integrarse a secuencias de proving automatizadas (API, 2021). Sin embargo, la implementación práctica de este método suele depender de computadores de flujo comerciales y plataformas especializadas que integran adquisición de señales, compensación por presión y temperatura, registro de variables, cálculo de factores del medidor y emisión de reportes.

El principal problema identificado es que estas soluciones comerciales presentan costos de adquisición y mantenimiento elevados, lo que limita su acceso para laboratorios de calibración e industrias con presupuestos restringidos. En la Tabla 1 Precios de Entrada de los Computadores de Flujo se evidencia, por ejemplo, que equipos comerciales como el ROC809 pueden representar inversiones difíciles de asumir en escenarios donde se requiere una solución funcional, pero económicamente accesible. Esta barrera tecnológica obliga a muchos usuarios a operar con procedimientos manuales o parcialmente automatizados, aun cuando tales prácticas incrementan el tiempo de ejecución y la probabilidad de errores operativos.

Tabla 1*Precios de Entrada de los Computadores de Flujo*

Equipo	Precio en USD	Precio en COP TRM = \$ 4000
Computador de flujo		
ROC809, Marca Emerson, (sin licencias específicas)	\$12.000	\$48.000.000

Nota. tomando como referencia los precios de la figura 1.

En la Figura 1 se muestra una oferta comercial de un proveedor de computadores de flujo de la marca Emerson modelo ROC 809, el cual oscila en los 12.000 dólares, este computador de flujo es uno de los más económicos en el mercado.

Figura 1*Cotización Computador de Flujo ROC 809 de Marca Emerson*

ITEM	CANT	SOLICITUD	OFERTA	VR. UNIT	VR. TOTAL
1	1	ROC809	ROC 800 Serie ROC 800: 809-1902-8270685; Unidad 809E (FSROC-809); Aprobación. CSA estándar; Fuente de alimentación: no requerida; Display. No requerido; 800 Módulo P1: AI 12BIT 4 CH (FS8AI-1); 800 Módulo P2: AI 12BIT 4 CH (FS8AI-1); 800 Módulo P3: PULSO AVANZADO; MÓDULO (FS8APM-1) 800 Módulo P4: No requerido; 800 Módulo P5: No requerido; 800 Módulo P6: No requerido; 800 Módulo P7: No requerido; 800 Módulo P8: No requerido; 800 Módulo P9: No requerido; Tipo: ROC809 (FSROC-809); Atributo suplementario: no aplicación	USD 9.910,00	USD 9.910,00
VALIDEZ DE LA OFERTA : 10 Semanas TIEMPO DE ENTREGA : 10 Semanas FORMA DE PAGO : 60% Anticipado / 40% Contraentrega			SUBTOTAL : IVA (19%) : TOTAL :	USD 9.910,00 USD 1.882,90 USD 11.792,90	

Nota. Elaboración propia, tomado de oferta comercial representante de Emerson.

En los procesos manuales de calibración, actividades como la apertura y cierre de válvulas, el registro de pulsos, la toma de temperaturas y presiones y la transcripción de datos dependen en gran medida de la intervención del operario. Esta condición introduce riesgos de descoordinación, errores de digitación, variabilidad entre corridas y aumento de la incertidumbre del proceso. Además, la repetición de pruebas por inconsistencias de registro genera sobrecostos y reduce la productividad del laboratorio o de la instalación industrial, algunos de estos errores se relacionan en la Tabla 2

Errores en Calibraciones Manuales e Impactos.

Tabla 2

Errores en Calibraciones Manuales e Impactos

Operación	Falla que ocasiona	Impactos en la calibración.
Tiempos diferentes de apertura y cierre de las válvulas (descoordinación del operario).	Si la corrida de calibración es muy corta, los tiempos en válvulas pueden ocasionar errores de repetibilidad en los resultados.	Error de repetibilidad, puede ocasionar el desechar un equipo bueno, ya que no es posible realizar ningún ajuste.
Registrar mal el dato de temperatura.	Una desviación en la temperatura mayor a 0,5 °F (0,27 °C) puede ocasionar diferencias en los resultados de calibración.	Se pueden obtener diferencias en exactitud y repetibilidad, aproximadamente cada 0,5°F equivale a un 0,01% de error en exactitud.

Operación	Falla que ocasiona	Impactos en la calibración.
Registrar mal el dato de presión	Una desviación en la presión mayor a 3 psi.	Impactos en la exactitud en presiones mayores a 100 psi.
Registrar los volúmenes finales de manera incorrecta.	La calibración compara dos volúmenes y evalúa error, factor del medidor, etc. si no se registra de manera correcta puede entregar cálculos incorrectos.	Un registro mal digitado puede ocasionar errores de exactitud y repetibilidad en los resultados, además de tiempo adicional en la calibración, por repetición de la prueba.

En el contexto de la industria de hidrocarburos en Colombia, la Resolución 40236 de 2022 del Ministerio de Minas y Energía establece los lineamientos técnicos y metrológicos para garantizar la correcta medición del volumen y la determinación de la calidad de los hidrocarburos producidos en el territorio nacional, aplicables a todas las etapas del proceso productivo (Ministerio de Minas y Energía, 2022). Esta normativa exige que los sistemas de medición empleados en operaciones de transferencia de custodia (venta de producto) cumplan con estándares internacionales, como el API Manual of Petroleum Measurement Standards, con el fin de asegurar confiabilidad, trazabilidad y exactitud en los resultados.

Adicionalmente, desconocer los efectos de magnitudes como la temperatura y la presión sobre los volúmenes medidos puede llevar a errores en la liquidación de inventarios y en la facturación por transferencia de custodia como se indica en la Tabla 3 Error de la Medición en la Industria.

Tabla 3*Error de la Medición en la Industria*

Error	Falla que ocasiona	Impactos
Desconocer las condiciones estándar en volúmenes. (masa no hay afectación)	No conocer la afectación de la presión y la temperatura en los fluidos, especialmente cuando se realiza medición en volumen.	Fallas de inventarios, facturación.

Aunque el mercado ofrece soluciones robustas y la literatura reporta sistemas automáticos de calibración, persiste una brecha para laboratorios e industrias que requieren una arquitectura modular, de menor costo y basada en hardware industrial ampliamente disponible. De ahí surge la necesidad de desarrollar un computador de flujo basado en PLC que automatice la calibración por método máster meter, ejecute las funciones esenciales de adquisición y procesamiento de datos, y reduzca la dependencia de procedimientos manuales sin apartarse de los lineamientos mínimos establecidos por API MPMS.

Pregunta de Investigación

¿Cómo puede desarrollarse un computador de flujo basado en PLC que cumpla con los requerimientos funcionales mínimos de la norma API MPMS y que, al mismo tiempo, ofrezca una alternativa automatizada de menor costo para laboratorios de calibración e industrias con recursos limitados?

Justificación

La pertinencia de este proyecto radica en la necesidad de fortalecer los procesos de calibración de medidores de flujo mediante soluciones tecnológicas accesibles, confiables y alineadas con criterios metrológicos reconocidos. En numerosos laboratorios e industrias, la medición dinámica de líquidos continúa realizándose con apoyo de procedimientos manuales o sistemas limitados, lo que incrementa los tiempos de ejecución, la posibilidad de error humano y la variabilidad entre corridas. Frente a esta situación, el desarrollo de un computador de flujo de menor costo representa una alternativa con impacto técnico y operativo directo.

Desde la perspectiva tecnológica, la propuesta aprovecha las capacidades de los PLC industriales para integrar conteo de pulsos, adquisición de señales analógicas, secuencias de control y comunicación con software de operación. Esta arquitectura híbrida permite automatizar tareas repetitivas, disminuir la dependencia del operador y mejorar la consistencia del proceso de calibración. Al mismo tiempo, el uso de hardware industrial estándar favorece la mantenibilidad, la disponibilidad de repuestos y la posibilidad de replicar o escalar la solución en otros entornos con necesidades semejantes.

Desde el punto de vista metrológico y normativo, el proyecto contribuye al cumplimiento de lineamientos técnicos aplicables a la calibración dinámica de medidores de flujo, especialmente los contenidos en API MPMS Chapters 4.8 y 12.2, así como en la reglamentación colombiana asociada a la medición de hidrocarburos líquidos y gaseosos (API, 2021, 2025; Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2022). La incorporación de funciones de registro, cálculo y corrección de variables permite avanzar hacia procedimientos más trazables, repetibles y documentables, aspectos esenciales en contextos de aseguramiento metrológico.

En el plano académico y profesional, esta investigación integra conocimientos de automatización industrial, instrumentación, metrología, programación de PLC y desarrollo de interfaces hombre-máquina. Su ejecución favorece la aplicación práctica de conceptos propios de la ingeniería electrónica en un problema real del sector industrial, y además puede servir como referencia para futuros desarrollos enfocados en la automatización de bancos de calibración y computadores de flujo de bajo costo.

Por todo lo anterior, la propuesta se justifica no solo por su viabilidad técnica, sino también por su capacidad de generar una alternativa funcional frente a soluciones comerciales de alto costo, aportando a la competitividad de laboratorios e industrias que requieren mejorar la calidad y eficiencia de sus mediciones sin incurrir en inversiones difícilmente sostenibles. Además, el sistema se alinea con requerimientos funcionales mínimos de API MPMS y no pretende sustituir integralmente un computador de flujo comercial certificado.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un computador de flujo basado en controladores lógicos programables (PLC) que integre un software de operación, para la calibración de medidores de flujo de líquidos.

Objetivos Específicos

Analizar las normas y estándares API MPMS necesarios en el desarrollo del computador de flujo, asegurando un cumplimiento mínimo de los requisitos normativos.

Diseñar la arquitectura del sistema utilizando PLC industriales y componentes electrónicos adecuados para la medición dinámica y calibración de medidores de flujo.

Desarrollar un software de operación que permita la configuración, supervisión y gestión del sistema de calibración, incluyendo las funciones básicas de un computador de flujo.

Automatizar el proceso de calibración de medidores de flujo, reduciendo el tiempo de ejecución frente a métodos manuales tipo stop-start-stop con válvulas.

Marco Teórico

Computadores de Flujo

Los computadores de flujo son sistemas electrónicos o computacionales diseñados para adquirir, procesar y presentar variables asociadas a la medición dinámica de fluidos. Su función principal consiste en integrar señales provenientes de medidores de flujo, transmisores de temperatura, transmisores de presión y otros dispositivos auxiliares, con el fin de calcular cantidades corregidas a condiciones de referencia, registrar eventos operativos y generar reportes con criterios normativos. En aplicaciones de hidrocarburos y otras industrias de proceso, estos sistemas resultan fundamentales para garantizar la exactitud de la medición, la trazabilidad de los resultados y la consistencia en la liquidación de volúmenes (API, 2021, 2025; American Gas Association, 2013).

Desde una perspectiva funcional, un computador de flujo articula tres componentes principales: la adquisición de datos, el procesamiento algorítmico y la presentación estructurada de resultados. La adquisición de datos comprende la lectura de variables a través de señales analógicas, pulsos o protocolos digitales. El procesamiento algorítmico incluye cálculos de corrección, totalización, validación y registro histórico. Por último, la presentación estructurada de resultados permite que el usuario consulte variables instantáneas, históricos de prueba y reportes asociados al proceso de medición o calibración (ABB, s.f.; Emerson, 2023).

Calibración de Medidores de Flujo

La calibración es el conjunto de operaciones mediante las cuales se establece, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un instrumento y los valores correspondientes obtenidos a partir de patrones de referencia. En el caso de los medidores de flujo, su propósito es verificar el comportamiento metrológico del instrumento,

determinar correcciones o factores de ajuste y asegurar que produzca resultados confiables dentro del rango operativo para el cual será utilizado (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2019; Centro Español de Metrología, 2012).

La calibración de medidores de flujo puede realizarse mediante métodos primarios o secundarios. Entre los métodos primarios se encuentran los sistemas gravimétricos y volumétricos, que comparan directamente la masa o el volumen medido con patrones de alta exactitud. Entre los métodos secundarios destaca el uso de medidores patrón o medidores maestros previamente calibrados y trazables, que permiten evaluar el desempeño de otros medidores en condiciones operativas representativas. En aplicaciones industriales dinámicas, este enfoque resulta especialmente atractivo por su flexibilidad operativa y su facilidad de integración con sistemas automatizados (API, 2021; Park et al., 2017).

Método Máster Meter

El método máster meter consiste en comparar el desempeño de un medidor bajo calibración con el de un medidor patrón de mayor exactitud y trazabilidad conocida, instalado en la misma línea o en una configuración equivalente de prueba. Durante la corrida de calibración, ambos instrumentos registran el paso del fluido bajo condiciones lo más estables posibles de operación. A partir de las lecturas obtenidas y de los factores de corrección aplicables, se determina el volumen corregido asociado al medidor patrón y se compara con el volumen indicado por el medidor evaluado, con el fin de establecer el factor del medidor o cuantificar su desviación (API, 2021; Park et al., 2017).

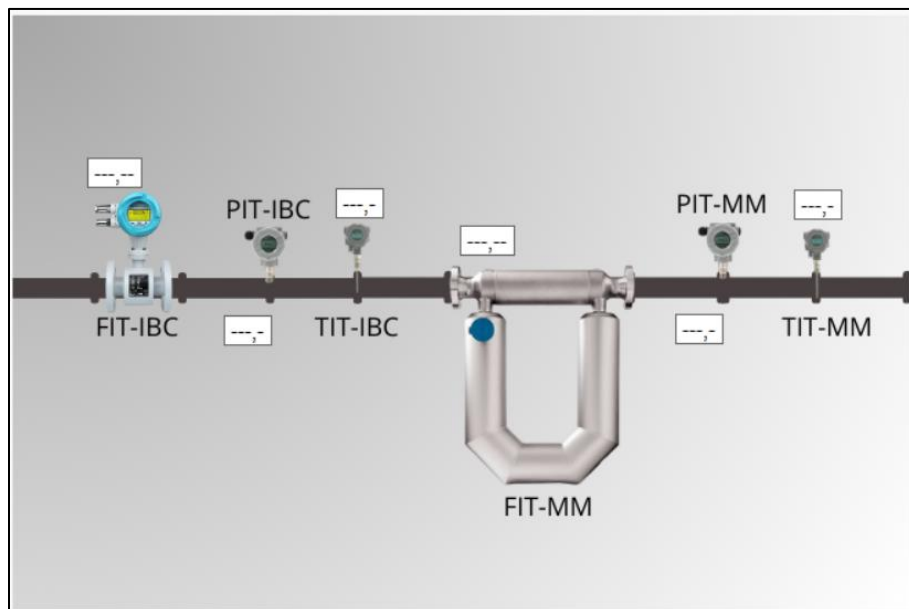
Este método es ampliamente utilizado en aplicaciones de líquidos debido a que reduce la complejidad operacional frente a otros métodos de referencia y permite efectuar verificaciones con una relación favorable entre exactitud, tiempo y costo. Cuando se integra con arquitecturas

automatizadas, mejora la repetibilidad del procedimiento, facilita la sincronización del registro de variables y disminuye los errores derivados de la intervención manual (Zhai et al., 2024; Zhang et al., 2023).

En la Figura 2 se muestra un sistema para calibración por el método de medidor maestro (Máster Meter), en donde se observa un medidor de flujo tipo Coriolis (FIT-MM) con elementos de compensación en la magnitud de temperatura (TIT-MM y TIT-IBC) y elementos para compensación en la magnitud de presión (PIT-MM y PIT-IBC), y como equipo bajo calibración un medidor de flujo de tipo electromagnético (FIT-IBC).

Figura 2

Montaje para calibración por método máster meter.



Nota. Elaboración propia en Canva.

Condiciones Estándar o Normalizadas en la Medición de Líquidos

En la medición de líquidos, el volumen indicado por un medidor puede variar debido a cambios de temperatura y presión. Por esta razón, en múltiples aplicaciones industriales no basta con reportar un volumen observado, sino que es necesario corregir dicho volumen a condiciones

estándar o de referencia, con el fin de garantizar comparabilidad entre mediciones realizadas en distintos momentos o condiciones operativas. Estas correcciones son especialmente relevantes en sectores como hidrocarburos líquidos, donde los volúmenes deben expresarse bajo condiciones normalizadas para efectos de liquidación, inventario o transferencia de custodia (API, 2025; Ministerio de Minas y Energía, 2022).

La corrección por temperatura suele representarse mediante el factor CTL (Correction for the effect of Temperature on the Liquid), mientras que la corrección por presión se asocia al factor CPL (Correction for the effect of Pressure on the Liquid). La aplicación de estos factores permite transformar el volumen observado en un volumen corregido a condiciones estándar. En Colombia, para aplicaciones de hidrocarburos líquidos, las condiciones de referencia están asociadas a 60,0 °F y 14,696 psia, de acuerdo con la reglamentación técnica vigente (Ministerio de Minas y Energía, 2022).

PLC y Automatización Industrial

Un controlador lógico programable (PLC) es un sistema computarizado utilizado para la automatización de procesos industriales mediante la lectura de entradas, el procesamiento lógico y la activación de salidas en tiempo real. Su uso se ha consolidado en la industria debido a su robustez, facilidad de integración con sensores y actuadores, capacidad de operar en entornos industriales y compatibilidad con protocolos de comunicación ampliamente utilizados (Rockwell Automation, s.f.; Siemens, s.f.).

En sistemas de medición y calibración, los PLC pueden desempeñar funciones como conteo de pulsos, adquisición de señales analógicas, secuenciamiento de pruebas, registro de eventos y transmisión de datos hacia sistemas de supervisión o software de nivel superior.

Aunque un PLC no sustituye por sí solo todas las funciones de un computador de flujo comercial

dedicado, sí puede constituirse en el núcleo de una arquitectura híbrida capaz de automatizar funciones esenciales del proceso de calibración cuando se complementa con software para cálculo, visualización y generación de reportes (Włodarczak et al., 2021; ABB, s.f.; Emerson, 2023).

Metrología y Trazabilidad en Medición de Caudal

La metrología es la ciencia de la medición y comprende tanto los fundamentos teóricos como las aplicaciones prácticas necesarias para garantizar resultados confiables y comparables. Uno de sus conceptos centrales es la trazabilidad metrológica, entendida como la propiedad de un resultado de medición mediante la cual este puede relacionarse con una referencia establecida a través de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una con su correspondiente incertidumbre (Centro Español de Metrología, 2012; NIST, 2019).

En la calibración de medidores de flujo, la trazabilidad es indispensable porque permite sustentar técnicamente que los resultados obtenidos tienen relación con patrones reconocidos y pueden utilizarse para fines operativos, regulatorios o comerciales. La validez de un sistema de calibración no depende únicamente de su arquitectura técnica, sino también de su capacidad para operar dentro de un marco metrológico claro, donde el medidor patrón esté calibrado, las variables auxiliares sean medidas con instrumentos adecuados y los procedimientos de prueba se ejecuten conforme a criterios documentados y aceptados (International Organization for Standardization, 2003; Ministerio de Minas y Energía, 2022).

Normas y Regulaciones en la Medición de Flujo

La medición dinámica de líquidos en contextos industriales se encuentra respaldada por un conjunto de normas y recomendaciones técnicas que establecen criterios para la instalación de sistemas, la ejecución de pruebas, la corrección de volúmenes y la emisión de resultados. Dentro

de este marco, el API Manual of Petroleum Measurement Standards (API MPMS) constituye una referencia fundamental para aplicaciones relacionadas con hidrocarburos líquidos y otros escenarios afines de medición dinámica. En particular, el capítulo 4.8 aborda la operación de sistemas de proving, incluyendo configuraciones con medidor maestro, mientras que el capítulo 12.2 desarrolla los cálculos asociados a cantidades medidas dinámicamente y a factores de corrección volumétrica (API, 2021, 2025).

En el contexto colombiano, la reglamentación técnica aplicable a la medición de hidrocarburos líquidos y gaseosos reconoce la necesidad de adoptar estándares internacionales para asegurar exactitud, trazabilidad y confiabilidad en los sistemas de medición. La Resolución 40236 de 2022 establece criterios para la medición de hidrocarburos líquidos y gaseosos, alineando la práctica nacional con lineamientos internacionales y reforzando la importancia del aseguramiento metrológico en aplicaciones industriales y comerciales (Ministerio de Minas y Energía, 2022).

Terminología General

Máster meter (MM): Un dispositivo de transferencia (equipo patrón) que se prueba usando un probador certificado y luego se utiliza para calibrar otros medidores de flujo.

Instrumento Bajo Calibración (IBC): Un dispositivo el cual se va a evaluar comparando su medición contra el medidor maestro MM o equipo patrón, usualmente es un medidor de flujo de menor desempeño que el equipo patrón.

Meter Factor (MF): El factor del medidor se utiliza para corregir el volumen indicado por un medidor a su volumen medido real. Es un término adimensional que se obtiene dividiendo el volumen estándar bruto del líquido que pasa por el medidor patrón (Máster Meter) entre el volumen estándar indicado registrado por el medidor que se está calibrando (IBC).

CTL y CPL: factores de corrección por temperatura y presión, respectivamente.

API MPMS: API Manual of Petroleum Measurement Standards - Manual de Normas de Medición de Petróleos del Instituto Americano del Petróleo

AGA: American Gas Association - Asociación Americana de Gas.

Estado del Arte y Antecedentes

La calibración de medidores de flujo ha evolucionado desde procedimientos manuales hacia sistemas automatizados capaces de mejorar la repetibilidad, reducir la incertidumbre operacional y optimizar los tiempos de prueba. En aplicaciones de medición dinámica de líquidos, esta evolución ha estado acompañada por la consolidación de marcos normativos internacionales que regulan tanto la operación de sistemas de calibración como los cálculos asociados a la determinación de volúmenes corregidos y factores del medidor. En este contexto, el API Manual of Petroleum Measurement Standards establece lineamientos para la operación de sistemas de proving y para el cálculo de cantidades de líquidos medidas dinámicamente, lo que evidencia que la automatización de estos procesos responde a una necesidad técnica real y no a una tendencia aislada (American Petroleum Institute [API], 2021, 2025).

Dentro de los métodos empleados para la calibración de medidores de flujo, el método de medidor maestro (máster meter) ha adquirido relevancia debido a que permite efectuar comparaciones metrológicas confiables con una infraestructura menos compleja que otros métodos primarios, como el gravimétrico. Park et al. (2017) estudiaron la calibración de medidores de agua mediante el método máster meter y concluyeron que este puede constituir una alternativa eficiente en términos de costo y tiempo, siempre que se controle adecuadamente la incertidumbre del medidor patrón y se modelen correctamente las desviaciones relativas del sistema. Los autores reportaron que la incertidumbre expandida del método puede mantenerse en niveles aceptables para aplicaciones industriales, lo que demuestra que el enfoque es técnicamente viable para entornos donde se busca equilibrio entre exactitud, rapidez y reducción de costos.

Además del uso del medidor maestro como principio de referencia, la literatura reciente muestra un interés creciente por el desarrollo de bancos automáticos de calibración. Zhai et al. (2024) diseñaron un sistema automático de calibración de flujo basado en el método máster meter y en pesaje dinámico, orientado a medidores ultrasónicos de agua. Su propuesta integró sensores, procesamiento algorítmico y control automatizado, logrando mejoras en eficiencia operativa y precisión frente a procedimientos convencionales. Este tipo de desarrollos es relevante porque evidencia que la tendencia actual no se limita a mejorar el instrumento de medición, sino a optimizar la arquitectura completa del sistema de calibración mediante automatización, adquisición sincronizada de datos y control estructurado del proceso.

[En una línea similar, Zhang et al. (2023) desarrollaron un sistema automático de calibración para un dispositivo patrón de flujo tipo pistón, incorporando análisis de incertidumbre, adquisición automatizada y evaluación de repetibilidad. Los resultados mostraron una incertidumbre expandida de 0,026 % y una repetibilidad inferior a 0,05 %, lo cual confirma que la automatización puede contribuir de manera decisiva a fortalecer el desempeño metrológico del sistema. Aunque este trabajo se centra en un patrón primario y no en un computador de flujo de bajo costo, aporta evidencia valiosa sobre la dirección actual del campo: la combinación entre instrumentación, automatización y procesamiento matemático para elevar la confiabilidad de la calibración.

Otro aspecto relevante del estado del arte es la digitalización del proceso de captura y tratamiento de datos durante la calibración. En este ámbito, Coelho et al. (2024) propusieron una estrategia para automatizar la lectura de mediciones digitales en procedimientos de calibración de caudalímetros, reduciendo la necesidad de intervención manual y disminuyendo errores de transcripción. Este tipo de aportes resulta especialmente importante porque uno de los

principales problemas de los procedimientos manuales es precisamente la dependencia del operario para registrar variables de presión, temperatura, volúmenes y tiempos de prueba. En consecuencia, la automatización no solo mejora la velocidad del ensayo, sino que reduce fuentes de error humano que afectan la repetibilidad y la trazabilidad del resultado.

En cuanto a plataformas de menor costo y configuraciones flexibles, también se han reportado desarrollos orientados a la calibración de medidores industriales de líquidos mediante arquitecturas automatizadas con instrumentación convencional y sistemas de adquisición programables. Rivas et al. (2016) presentaron un sistema automático de prueba y medición para la calibración de medidores industriales de líquidos, destacando su flexibilidad experimental y su potencial para adaptarse a distintos tipos de medidores. Aunque no se trató específicamente de un computador de flujo basado en PLC, el estudio mostró que es posible construir plataformas de calibración funcionales sin depender exclusivamente de equipos comerciales cerrados y de alto costo.

En el ámbito industrial, existen desde hace años soluciones comerciales consolidadas para flow computing, proving y calibración dinámica. Fabricantes como ABB, Emerson, Endress+Hauser y KROHNE ofrecen computadores de flujo y sistemas de proving capaces de integrar señales de pulsos, variables analógicas de presión y temperatura, algoritmos de corrección volumétrica y funciones de reporte bajo estándares internacionales (ABB, 2026; Emerson, 2026; Endress+Hauser, 2022; KROHNE, 2026). Estas plataformas confirman que la integración entre medición dinámica, automatización y procesamiento de datos es un campo tecnológicamente maduro. Sin embargo, también evidencian que muchas de estas soluciones están diseñadas para aplicaciones de alta exigencia, como transferencia de custodia, terminales,

refinerías o grandes instalaciones industriales, lo que puede hacerlas económicamente inaccesibles para laboratorios pequeños o medianas empresas.

Respecto al uso de controladores lógicos programables (PLC), la literatura técnica y las aplicaciones industriales muestran que estos dispositivos son apropiados para funciones de adquisición de señales, conteo de pulsos de alta frecuencia, secuenciamiento de pruebas, control de actuadores y comunicación con software de supervisión. Włodarczak et al. (2021) demostraron la viabilidad del uso de PLC para el control y supervisión de sistemas de flujo, resaltando su robustez industrial y su capacidad de integrarse con sensores y algoritmos de control. Aunque un PLC no sustituye de manera directa todas las prestaciones de un computador de flujo comercial dedicado, sí puede desempeñar un papel central en una arquitectura híbrida en la que el controlador gestiona la adquisición y la lógica del proceso, mientras una aplicación externa realiza cálculos normativos, visualización de variables y generación de reportes.

A nivel de antecedentes académicos cercanos al problema de investigación, se identifican trabajos aplicados a calibración de medidores y automatización en gas, agua y sistemas de medición industrial. Vargas Burgos (2019) desarrolló la automatización del proceso de calibración para medidores de gas tipo diafragma, rotativo, turbina y ultrasónico, integrando autómatas programables y una arquitectura de control funcional. Buzón González et al. (2019) realizaron un diagnóstico metrológico de una instalación automatizada para la calibración de metrocontadores con agua como líquido de trabajo, destacando la importancia de controlar rigurosamente las variables del proceso para reducir incertidumbres. Cuéllar Rojas (2023) abordó la optimización de computadores de flujo en la distribución de gas, mostrando la relevancia de estos sistemas en la mejora de la calidad de medición. Por su parte, Cayata Sotelo (2023) diseñó un sistema de control automático de flujo para la verificación inicial de medidores de gas de uso

industrial, evidenciando que la automatización permite mejorar calidad de servicio, reducir errores humanos y optimizar tiempos de operación.

En conjunto, la revisión realizada permite concluir que sí existen antecedentes académicos, desarrollos tecnológicos y soluciones industriales relacionadas con la calibración automatizada de medidores de flujo, el método máster meter y el uso de plataformas programables para adquisición y procesamiento de datos. Sin embargo, también se evidencia que gran parte de estas soluciones se orientan a aplicaciones de alta especialización, patrones primarios, bancos de calibración de mayor complejidad o equipos comerciales de costo elevado. En este sentido, el vacío no radica en la inexistencia de tecnologías previas, sino en la necesidad de contar con alternativas más accesibles, modulares y funcionales para laboratorios de calibración e industrias con recursos limitados. A partir de esta brecha, el presente proyecto se justifica como una propuesta orientada al desarrollo de un computador de flujo basado en PLC industrial y software propio, capaz de automatizar funciones esenciales de adquisición, registro, cálculo y reporte en la calibración de medidores de flujo de líquidos, bajo criterios técnicos alineados con los lineamientos mínimos de la norma API MPMS.

Metodología

El desarrollo del computador de flujo para la calibración de medidores de líquidos se llevó a cabo bajo un enfoque aplicado, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. La investigación inició con el análisis normativo y técnico, seguido del diseño e implementación del sistema, para finalmente validar su funcionamiento mediante pruebas experimentales y análisis de resultados.

Enfoque y Diseño del Estudio

El estudio sigue un diseño de investigación aplicada y experimental, ya que busca desarrollar una solución tecnológica funcional basada en normativas y estándares de metrología. Se implementó un prototipo funcional, el cual fue evaluado en condiciones reales de operación.

Método de Estadística y Análisis de Datos

Para evaluar el desempeño del sistema, se realizó un análisis de resultados, además, se compararon los resultados obtenidos con los de otros sistemas de calibración (métodos), verificando su precisión y confiabilidad mediante herramientas estadísticas básicas.

Metodología de Desarrollo

La metodología para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo como se muestra en la Figura 3. En ella se presentan las fases de la metodología propuesta para el desarrollo del computador de flujo: análisis normativo, diseño del sistema, desarrollo e implementación, pruebas, validación funcional y análisis de resultados.

Figura 3*Metodología del Desarrollo del Proyecto*

Nota. Elaboración propia en CmapTools

Análisis normativo y técnico: Revisión de las normas API MPMS aplicables al proceso de medición dinámica y calibración por el método de medidor maestro, con el fin de definir los requisitos técnicos y metrológicos que debe cumplir el sistema.

Diseño del sistema: Se diseña la arquitectura del computador de flujo, incluyendo la selección del PLC, módulos analógicos, sensores, fuente de alimentación, gabinete y sistema de comunicación, garantizando compatibilidad industrial y bajo costo.

Implementación y programación: Se implementa el sistema integrando hardware y software. El PLC se programa para la adquisición de señales, procesamiento de datos y control del proceso de calibración, mientras que el software en C# permite la visualización, registro y generación de reportes.

Pruebas y validación funcional: Se realizan pruebas experimentales comparando el proceso de calibración manual tipo start-stop con válvulas frente al proceso automatizado con el computador de flujo, evaluando tiempos de ejecución y comportamiento del sistema.

Análisis Normativo y Técnico

Para el desarrollo de la solución se tuvo en cuenta las normas internacionales API MPMS en los siguientes capítulos.

Para el método: API MPMS 4.8 Operation of Proving Systems.

Para cálculos matemáticos: API MPMS 12.2. Calculation of Petroleum Quantities Using Dynamic Measurement Methods and Volumetric Correction Factors

Para determinar factores de corrección del agua: API MPMS 11.4.1 Density of Water and Water Volumetric Correction Factors for Water Calibration of Volumetric Provers.

API MPMS Capítulo 4.8

Se analizaron los métodos de calibración para medidores de flujo volumétrico de líquidos, con especial énfasis en el método máster meter, aplicado en este proyecto, los siguientes ítems fueron los numerales analizados

- 7.6.3 Computational Technologies
- 7.7 Proving Meters Utilizing Totalizers (conteo mínimo de totalizadores 1 parte en 10.000) Contadores de pulsos con resolución mínima de 20kHz
- 9 Types of provers

- 9.4 Master Meter Prover
- 11.1 Volumetric Proving
- 12 Assessment of Proving Results
- Annex A. Evaluating Meter Proving Data
- Annex C.7 Operating Procedures
- Annex C.7.4 Master Meter Prover

API MPMS Capítulo 12.2

Según la norma API MPMS 12.2 donde se establecen los modelos matemáticos que se utilizaron como base para el desarrollo del sistema para calibración de medidores de flujo por el método máster meter, los modelos matemáticos e ítems utilizados como base se presentan a continuación:

- Modelo matemático para el método máster meter

$$MF = \frac{GSV}{ISV} = \frac{MMF * IV_{mm} * CTL_{mm} * CPL_{mm}}{IV_{ibc} * CTL_{ibc} * CPL_{ibc}}$$

MF = Meter Factor

GSV = Volumen estandar en el patrón

ISV = Volumen estandar en el equipo bajo prueba

- 6.2 Register Precision and Rounding
- 6.3 Averaging
- 7 Discrimination Levels and Discrimination Tables
- 9 Correction Factors
- 10 Generalized Equations for Liquid Volume Determinations
- 11 Measurement Tickets

- 12 Meter Proving Reports

Requerimientos del Diseño de la Solución

La Tabla 4 se presenta la relación entre los requerimientos del sistema y la especificación de la solución propuesta. Su objetivo es mostrar de forma directa cómo cada necesidad funcional y técnica es cubierta mediante componentes de hardware y software, permitiendo verificar el cumplimiento del diseño del sistema.

Tabla 4

Requerimientos y Especificación de la Solución.

Requerimiento	Especificación de la solución
Medición de flujo del medidor del equipo patrón y equipo bajo prueba (IV): <i>Contadores de pulsos de alta frecuencia mínimo 20kHz.</i>	Hardware: 6 entradas de contadores de alta frecuencia integrados en el PLC S7 1200 de la marca Siemens, frecuencia máxima de operación de 100 kHz.
Medición de temperatura del fluido: <i>Estándar industrial de corriente 4 - 20mA</i>	Hardware: Modulo SM1234 AI4/AQ2, con 4 entradas análogas estándar de 4 – 20mA. Software Windows forms: Permite actualizar el dato manual.
Medición de la presión del fluido: <i>Estándar industrial de corriente 4 - 20mA</i>	Hardware: Modulo SM1234 AI4/AQ2, con 4 entradas análogas estándar de 4 – 20mA. Software Windows forms: Permite actualizar el dato manual.
Cálculos de corrección por efectos de la temperatura en el líquido (CTL)	Software Windows Forms: aplicación de la formula según la norma API MPMS 11.4.1.

Requerimiento	Especificación de la solución
Cálculos de corrección por efectos de la presión en el líquido (CPL)	Software Windows Forms: aplicación de la formula según la norma API MPMS 11.4.1
Linealización del factor del medidor maestro o factor de corrección del equipo patrón (MMF)	Software Windows Forms: aplicación regresión lineal entre dos puntos.
Calculo a condiciones estándar del volumen medido por equipo bajo prueba (ISV)	Software Windows Forms: aplicación de la formula según la norma API MPMS 12.2 $ISV = IV_{ibc} * CTL_{ibc} * CPL_{ibc}$
Calculo a condiciones estándar del volumen medido por el medidor maestro o patrón (GSV)	Software Windows Forms: aplicación de la formula según la norma API MPMS 12.2 $GSV = MMF * IV_{mm} * CTL_{mm} * CPL_{mm}$
Calculo meter factor intermedio (IMF) factor del medidor	Software Windows Forms: aplicación de la formula según la norma API MPMS 12.2 $IMF = \frac{GSV}{ISV}$
Cálculo de la repetibilidad de los factores intermedios (R%)	Software Windows Forms: aplicación de la formula según la norma API MPMS 12.2 $R\% = \frac{IMF_{max} - IMF_{min}}{IMF_{min}} * 100$
Comunicaciones	Comunicación con el PLC: Ethernet (Profinet). Comunicación entre dispositivos (PLC-HMI): protocolo de comunicación Modbus TCP/IP

Requerimiento	Especificación de la solución
Interfaz de operador o usuario	Software: Aplicación de escritorio desarrollada en Windows Forms C#, para el acceso al sistema de calibración por el método máster meter.
Entrega de resultados	Software: La interfaz de operador imprime los resultados (pdf o impresora predeterminada), de acuerdo con la norma API MPMS 12.2

Nota. la tabla expone los requerimientos mínimos y como se abordarán en el desarrollo de la solución.

Desarrollo de la Solución

El desarrollo de la solución se divide en dos etapas: el desarrollo del hardware y el desarrollo del software. El hardware corresponde al sistema físico (PLC) encargado de adquirir las señales provenientes de los medidores de flujo y de la instrumentación asociada. El software, por su parte, establece la comunicación con el PLC, lee las señales adquiridas, realiza los cálculos correspondientes y entrega los resultados al operario a través de la interfaz de usuario.

Desarrollo del Hardware

El hardware está compuesto por los siguientes componentes, cada uno con una funcionalidad específica.

- Protección: Breaker de 6A, sistema de protección para alimentación externa de 120Vac / 60Hz de la red eléctrica general.
- Fuente de alimentación 24Vdc regulada, es un dispositivo cuya función principal es convertir y suministrar energía eléctrica adecuada a un equipo o sistema, transformando la energía de entrada (120 Vac) en una salida estable y regulada (24Vdc) con el voltaje y la corriente requeridos para la operación del sistema.
- Controlador principal: PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/RLY), controlador Lógico Programables que se encargará de leer las magnitudes de campo, almacenarlas y transmitir las mediante protocolo Modbus al Software de operación desarrollado en la plataforma Windows Forms C#; El controlador (PLC) tiene las siguientes características:
 - Alimentación 24Vdc
 - 14 entradas digitales (6 de las cuales son rápidas hasta 100kHz) (Pulsadores, sensores, medidores de flujo con salida de pulsos)
 - 10 salidas digitales (Indicadores luminosos, pilotos, actuadores, etc.)

2 entradas análogas (Entradas de sensores)

- Entradas análogas: Módulo AI para leer las señales de transmisores (temperatura, presión) usando estándar de corriente de 4 – 20mA. El módulo SM1234 tiene las siguientes características.

4 entradas análogas (sensores o instrumentación)

2 salidas análogas (actuadores)

- Borneras de paso: componente eléctrico que ayuda a separar las señales del PLC y campo. Ayudan a facilitar las conexiones eléctricas de los dispositivos y que no se esté interviniendo continuamente en las conexiones del PLC.

- Gabinete industrial: IP65, con placa DIN interna para el conexionado eléctrico de los componentes.

- Computador con sistema operativo Windows 10 o superior: Interfaz gráfica para operación del sistema de calibración que trabajará con el software desarrollado.

Instrumentación (No hace parte del desarrollo)

La instrumentación relacionada son los equipos de que entregan la señal del PLC los cuales debe contar el usuario final y no hace parte del desarrollo de la solución.

Sensor de presión: Transmisor de presión con salida de corriente 4–20 mA, (Dato manual para indicadores de presión)

Sensor de temperatura: Transmisor de temperatura con salida de corriente 4–20 mA, (Dato manual para indicadores de temperatura.)

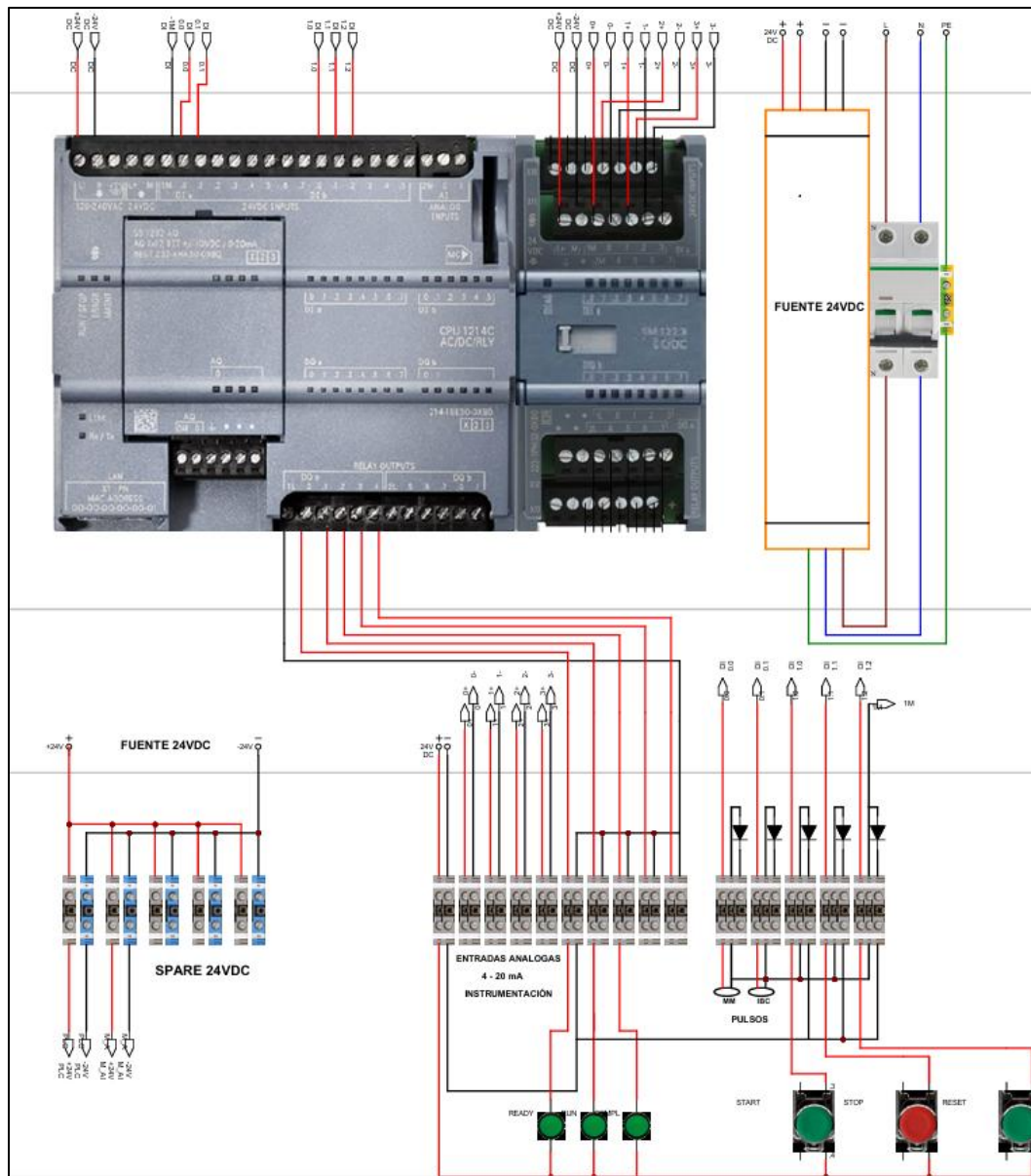
Medidor de flujo maestro: Medidor de flujo tipo Coriolis o tecnología de alta exactitud con salida digital (Frecuencia 10kHz).

Planos

En la Figura 4 se muestra el plano general de conexionado eléctrico del tablero que llevara el sistema de calibración de medidores de flujo por el método máster meter.

Figura 4

Plano Tablero Eléctrico Realizado en CADE_SIMU.



Nota. Elaboración propia en software CADE_SIMU.

Descripción de Componentes y Montaje

En la Figura 5 se muestra el ensamble del tablero eléctrico, en el cual se relacionan los componentes utilizados para el montaje.

Figura 5

Ensamble Tablero Eléctrico

Breaker (encendido del sistema)

Fuente de 24VDC: Suministra alimentación al PLC y toda la instrumentación que lo requiera

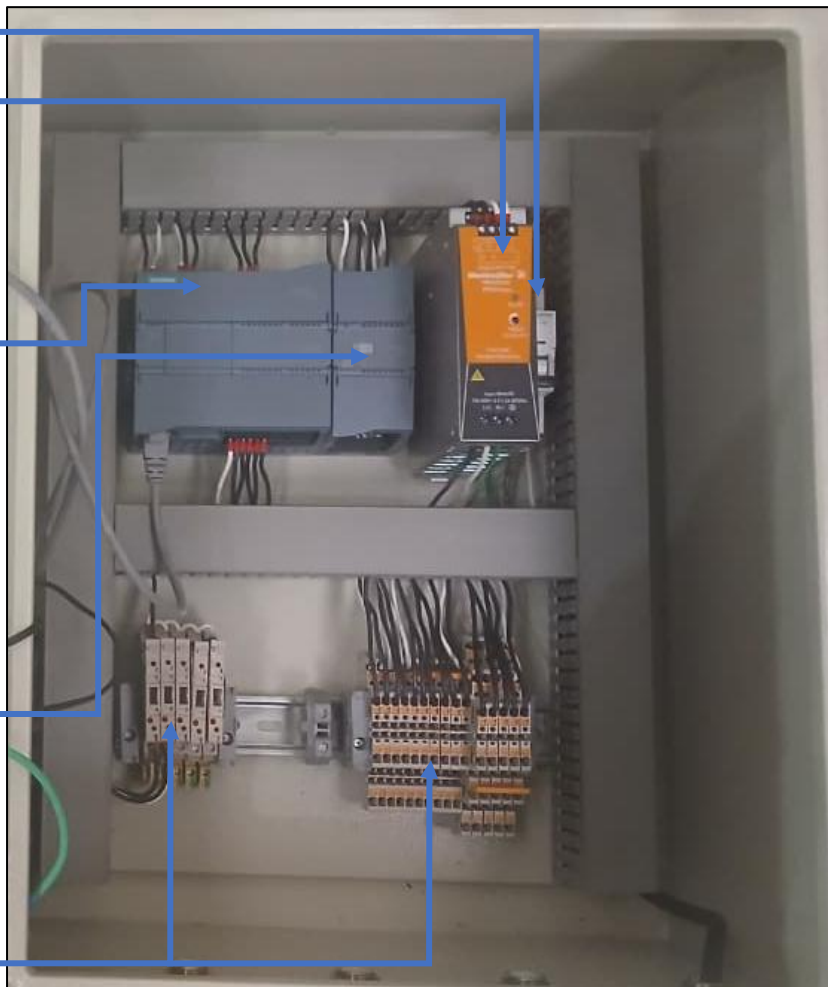
PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/RLY), Entradas de pulsadores y señales de los medidores de flujo (Pulsos de alta frecuencia).

Módulo SM1231 (AI - entradas analógicas): Recibe señales de instrumentación tipo 4–20 mA.

Borneras de paso: Organizan el cableado entre sensores y el

PLC.

Nota. Elaboración propia.

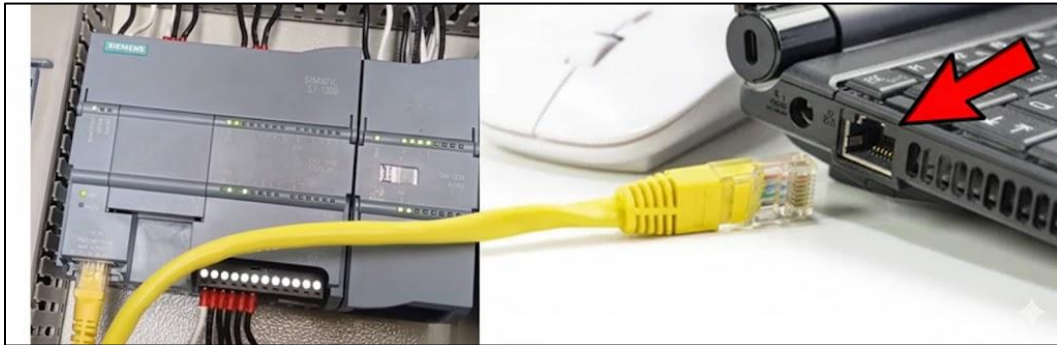


Comunicaciones entre Hardware y Software

La interfaz física se establece mediante un cable de red RJ45 (Patch Core), el cual va del puerto ethernet del PLC S71200 al puerto ethernet del computador portátil, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Conexión física PLC S7 1200 y computador portátil



Nota: Elaboración propia

De acuerdo con la configuración a realizar cambia el protocolo y software de comunicación con el equipo, como se relacionan a continuación.

Comunicación y Configuración con el PLC:

Protocolo de comunicación: Profinet (Ethernet)

Software de programación: TIA Portal V.17 para PLC.

Lenguaje de programación: Ladder (escalera).

Comunicación con el Software Desarrollado HMI (Interfaz de Operador o Usuario):

Protocolo de comunicación: Modbus TCP/IP (Ethernet)

Software de programación: Visual Studio 2019 (Aplicación de escritorio, Windows Forms)

Lenguaje de programación: C#

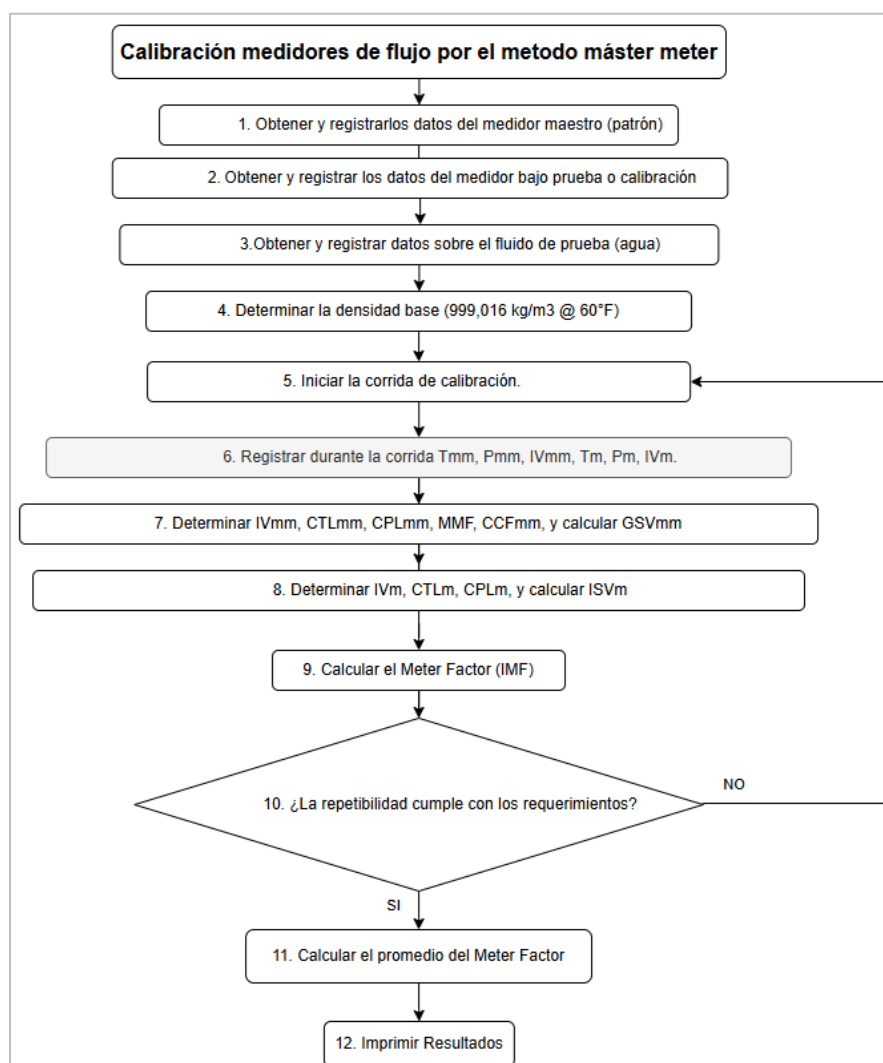
Software de comunicación: HMI (Aplicación desarrollada)

Desarrollo del Software

El procedimiento para la calibración de medidores de flujo por el método máster meter o medidor maestro sigue el diagrama de flujo de la Figura 7, a partir del cual se desarrolla el software de calibración.

Figura 7

Diagrama de Flujo Procedimiento de Calibración Método Máster Meter



Nota: Elaboración propia en Canva

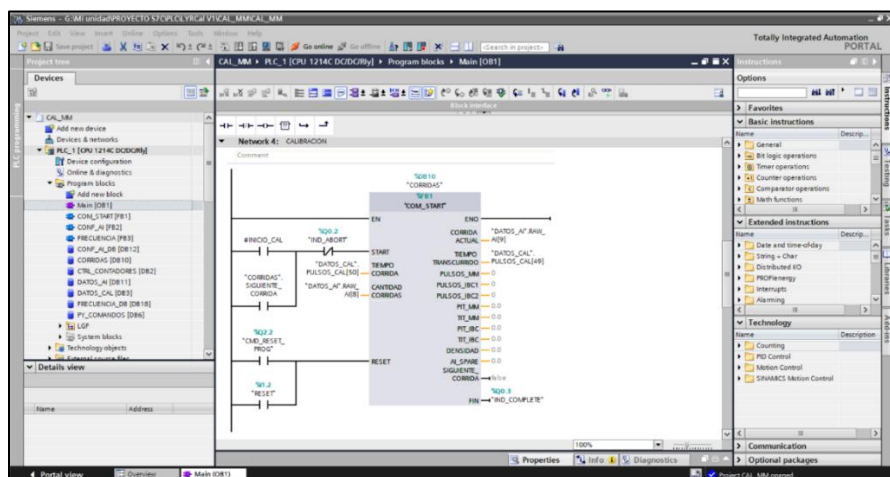
Para la automatización del proceso de calibración de medidores de flujo por el método máster meter se desarrolla el software el cual está dividido en dos partes, la primera es la programación del PLC que es el encargado de adquirir y registrar las señales de los sensores almacenarlas en bases de datos y transmitirla por protocolo industrial Modbus TCP/IP, la segunda parte la compone la interfaz humano máquina (HMI), que es la aplicación de escritorio diseñada para la operación completa del sistema, la cual fue desarrollada usando Windows Forms, bajo el lenguaje de programación C#.

Programación PLC S7 1200 Siemens

El PLC S7 1200 ejecuta el paso 6. del diagrama de flujo de la Figura 7, el cual es encargado de adquirir, registrar y transmitir durante la prueba los datos del proceso como volúmenes, presiones y temperatura, En la Figura 8 se muestra el software utilizado para la programación TIA Portal V.17 del fabricante Siemens, el lenguaje de programación es escalera (Ladder), y el protocolo de comunicación entre software de programación y el PLC es Profinet (Ethernet) propio del fabricante Siemens.

Figura 8

TIA Portal Programa, Bloque de Registro y Control de la Calibración



Nota. Imagen tomada del software de configuración TIA Portal.

El PLC se dedicará al registro durante la corrida de Tmm, Pmm, IVmm, Tm, Pm, IVm, almacenará los datos en los DB y serán leídos por el computador (software PC) mediante el protocolo Modbus TCP/ IP, el computador (software PC) se encargará de realizar todos los cálculos matemáticos y entregar resultados.

Tmm: Temperatura del fluido en máster meter (patrón)

Pmm: Presión del fluido en máster meter (patrón)

IVmm: Volumen máster meter (patrón)

Tm: Temperatura del fluido en medidor (medidor bajo calibración)

Pm: Presión del fluido en medidor (medidor bajo calibración)

IVm: Volumen medidor (medidor bajo calibración).

Programación Interfaz Humano Máquina (HMI)

La aplicación de escritorio desarrollada ejecuta todos los pasos del diagrama de flujo de la Figura 7, excepto el paso 6, que estará dedicado 100% al PLC; Para la programación de la interfaz de usuario se utilizó el software Visual Studio 2019, usando el modelo de aplicación de escritorio Windows Forms, con el lenguaje de programación C#.

Programación Visual del Lado del Operador (Frontend)

Las pantallas se programaron usando Windows Forms (Visual Studio 2019), insertando las herramientas necesarias (Label, Textbox, Buttons, Imágenes, etc.) al formulario para la elaboración de las pantallas, a continuación, se describen las pantallas desarrolladas para la interfaz de usuario.

La Figura 9 muestra la Pantalla de Información general, donde se ingresan los datos del cliente y la configuración de unidades, es diseñada a partir de bloques de texto y botones para la

selección de unidades, la información registrada no afecta el proceso de calibración, pero si se muestra en el reporte final de las pruebas.

Figura 9

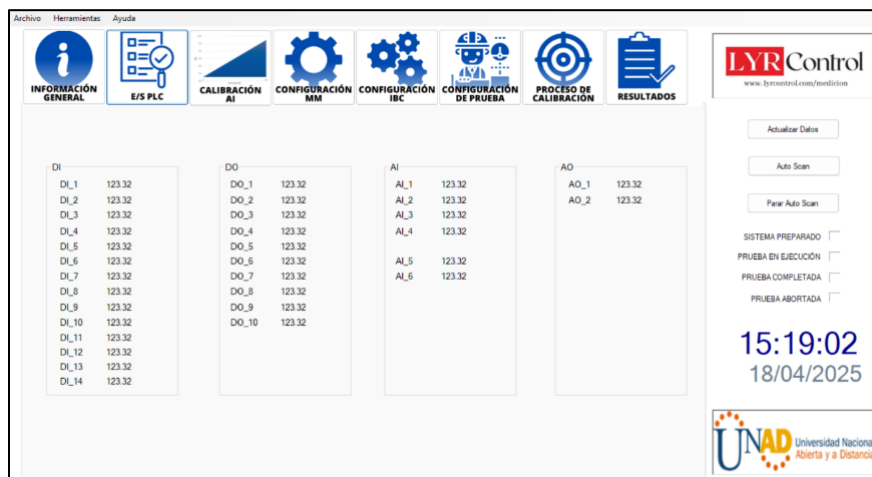
HMI Pantalla Información General

Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

La Figura 10 muestra la Pantalla E/S PLC, es una pantalla informativa, indica el estado de las entradas y salidas del PLC; Es diseñada a partir de bloques de texto, la cual es una ayuda para diagnosticar fallas en alguna entrada del PLC o falla de comunicación.

Figura 10

HMI Pantalla Entradas y Salidas de del PLC

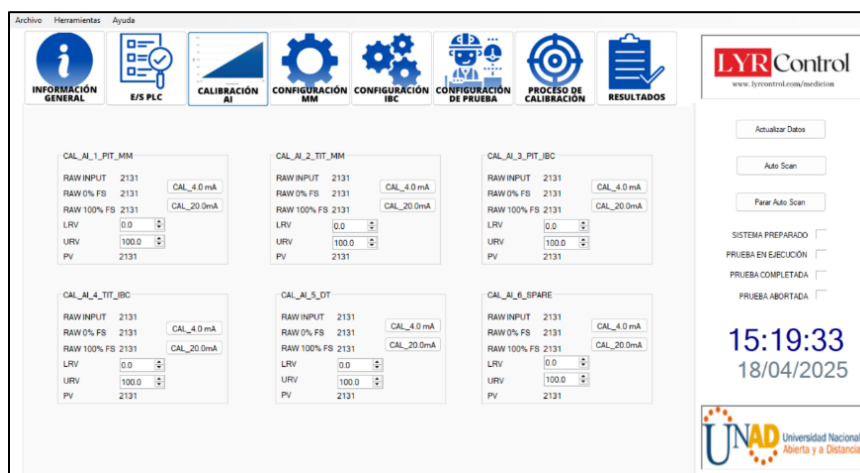


Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

La Figura 11 muestra la pantalla Calibración AI, es una pantalla para la configuración y calibración de las entradas análogas de corriente 4-20mA, está diseñada para las señales de los transmisores de presión y temperatura que trabajan bajo el estándar industrial de corriente; La pantalla permite escalar la entrada 4–20mA a un intervalo de medición, por ejemplo, de 0 a 100 °C, siendo 4mA una temperatura de 0°C y 20 mA para 100°C.

Figura 11

HMI Pantalla Calibración Entradas Análogas



Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

La Figura 12 muestra la pantalla Configuración MM, en ella se realiza la configuración y se registran los datos del medidor maestro o patrón, paso 1 del diagrama de flujo de la Figura 7; La pantalla permite ingresar todos los datos necesarios para para la calibración como son los factores, el primero K-factor con el cual se determina el volumen medido por el medidor, está dado en unidades de (pulsos/unidad_de_volumen), ejemplo 100 pulsos/galón, lo que indica que cuando se cuente 100 pulsos ha pasado un 1 galón del fluido, otro ejemplo sería 1000 pulsos/m³ cuando el contador del PLC indique 1000 pulsos ha pasado 1 m³ de fluido, otro factor importante es el factor del medidor (MMF), es un factor multiplicativo de corrección, para medidores con buenas especificaciones será muy cercano a uno (1).

Figura 12

HMI Pantalla Configuración Medidor Maestro

Archivo Herramientas Ayuda

INFORMACIÓN GENERAL E/S PLC CALIBRACIÓN AI CONFIGURACIÓN MM CONFIGURACIÓN IBC CONFIGURACIÓN DE PRUEBA PROCESO DE CALIBRACIÓN RESULTADOS

LYR Control
www.lyrcontrol.com/medicion

Actualizar Datos
Auto Scan
Parar Auto Scan

SISTEMA PREPARADO
PRUEBA EN EJECUCIÓN
PRUEBA COMPLETADA
PRUEBA ABORTADA

15:21:03
18/04/2025

UNAD Universidad Nacional
Abierta y a Distancia

Proveer Tag: MTR-EQ-045
Fabricante: ENDRESS + HAUSER
Modelo: PROMASS 84F40
Tamaño: 1 1/2"
N° Serial: F2023116000
N° de Certificado: CC-25-067-2
Fecha de Calibración: 2025-03-21

K-Factor: 1000 Pulso/gal
Meter Factor manual: 1.0000
Meter Factor calculado: 1.0000

MMF
 Usar Meter Factor manual
 Usar Meter Factor calculado
 Meter Factor en uso: 1.0000

Curva Meter Factor	Caudal	Meter Factor
1	4.97	0.9998
2	9.96	0.9998
3	20.06	0.9999
4	39.97	1.0000
5	59.41	0.9999
6	79.95	1.0001
7	99.99	1.0002
8	119.93	1.0002
9	140.99	1.0003
10	159.67	1.0003
11	0	0
12	0	0

Entradas
Caudal: 9999.99
Presión: 8888.8
Temperatura: 7777.7

Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

La Figura 13 muestra la pantalla Configuración IBC, la cual permite la configuración y registro de datos del medidor bajo prueba o calibración, paso 2 del diagrama de flujo de la Figura 7; Se incluye la misma información del patrón a diferencia que no se incluye el factor de medidor o meter factor (MF), ya este factor es el que se va a determinar en la calibración.

Figura 13*HMI Pantalla Configuración Instrumento Bajo Calibración*

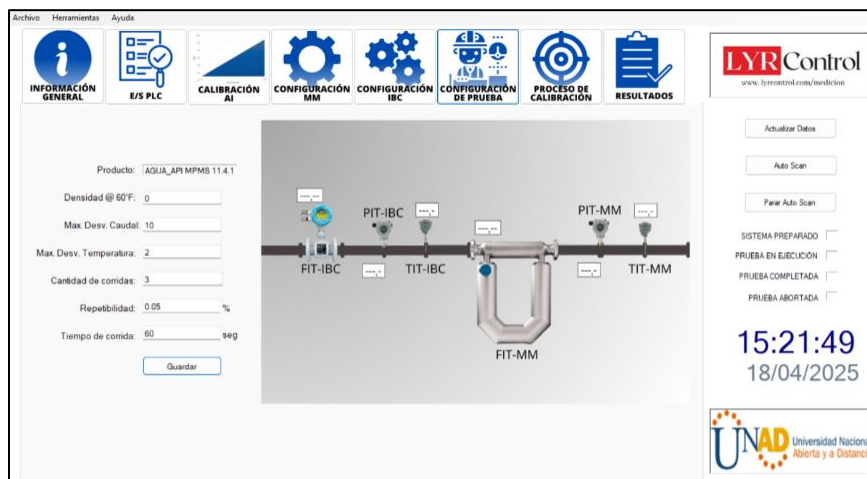
The screenshot displays the 'Configuración Instrumento Bajo Calibración' screen in the LYR Control software. The interface includes a top navigation bar with icons for 'INFORMACIÓN GENERAL', 'E/S PLC', 'CALIBRACIÓN AI', 'CONFIGURACIÓN MM', 'CONFIGURACIÓN IBC', 'CONFIGURACIÓN DE PRUEBA', 'PROCESO DE CALIBRACIÓN', and 'RESULTADOS'. The main area contains input fields for 'Tag' (MTR-EQ-001), 'Fabricante' (MICROMOTION), 'Modelo' (CMF300), 'Tamaño' (3"), and 'N° Serial' (499202). It also features a 'K-Factor' slider set to 250 and a 'Meter Factor' field set to 1.0000. A 'Entradas' section shows 'Caudal: 9999.99', 'Presión: 8888.8', and 'Temperatura: 7777.7'. On the right, there are buttons for 'Actualizar Datos', 'Auto Scan', and 'Parar Auto Scan', along with status checkboxes for 'SISTEMA PREPARADO', 'PRUEBA EN EJECUCIÓN', 'PRUEBA COMPLETADA', and 'PRUEBA ABORTADA'. The bottom right corner displays the time '15:21:27' and date '18/04/2025', and the UNAD logo.

Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

La Figura 14 muestra la pantalla de Configuración de prueba, la cual permite la visualización del proceso y la configuración de las repeticiones, el tiempo y las tolerancias de la prueba de calibración, pasos 3 y 4 del diagrama de flujo de la Figura 7.

Figura 14

HMI Pantalla Configuración de Prueba

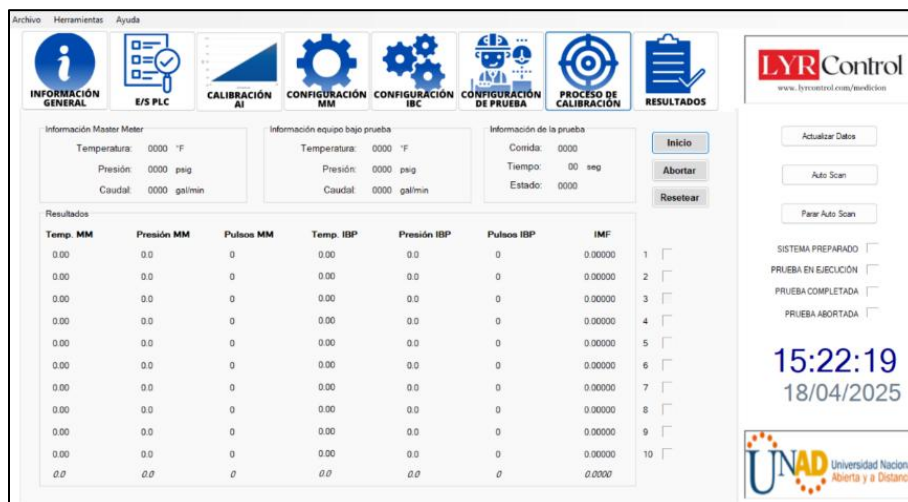


Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

La Figura 15 se muestra la pantalla Proceso de calibración, permite la visualización del proceso, y tiene los botones de los comandos de inicio, abortar y restablecer la prueba de calibración, pasos 5 y 10 del diagrama de flujo de la Figura 7; los comandos son botones que modifican registros Modbus del PLC que activan, paran o restablecen el ciclo de calibración.

Figura 15

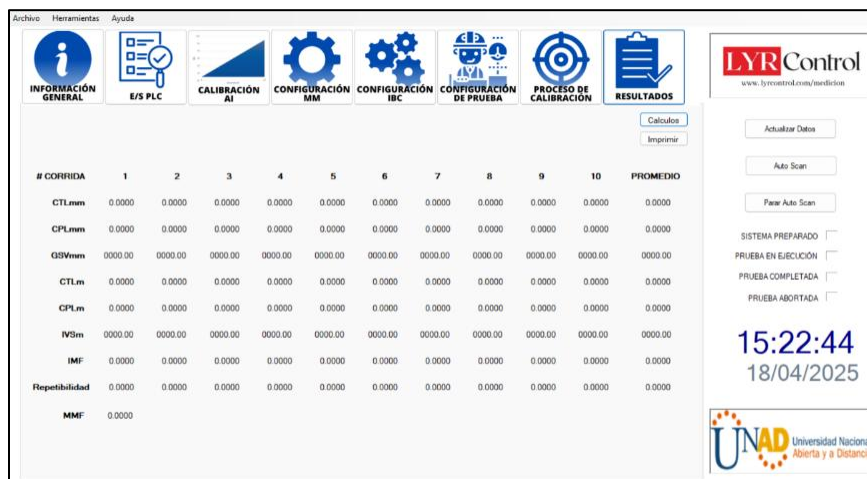
HMI Pantalla Proceso de Calibración



Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

La Figura 16 muestra la pantalla Resultados, la cual indica mediante bloques de texto los resultados del proceso de calibración, adicionalmente permite mediante botones calcular e imprimir en PDF el ticket de calibración, Pasos 7, 8, 9, 11, 12 del diagrama de flujo de la Figura 7.

Figura 16

HMI Pantalla de Resultados

Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

Programación código fuente (backend)

El código fuente está desarrollado bajo lenguaje de programación C#, este código es encargado de las funciones que tiene las pantallas de la interfaz usuario mayormente dadas por los botones, para la comunicación con el PLC bajo el protocolo Modbus TCP/IP se utilizó la librería EasyModbus como herramienta ya desarrollada por Rossmann Engineering.

Desarrollo e Implementación

Integración de Hardware y Software

La solución implementada consiste en un sistema automatizado de calibración de medidores de flujo, que integra sensores, un PLC Siemens S7-1200, módulos de entrada análogas, una interfaz de usuario desarrollada para Windows que opera en conjunto bajo una arquitectura diseñada para garantizar precisión y eficiencia.

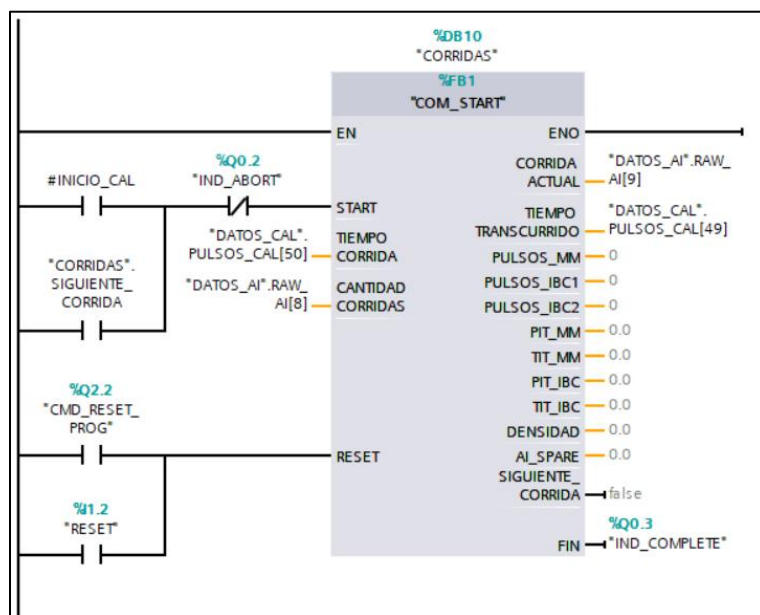
Adquisición de Datos

El PLC recibe las señales provenientes de sensores de presión y temperatura a través de entradas analógicas, bajo el estándar industrial de corriente 4–20 mA. Asimismo, la señal de volumen se adquiere mediante módulos de entradas digitales o contadores de alta frecuencia (HSC) que incluye el PLC S7-1200 de Siemens.

El bloque de función de la Figura 17 recibe los comandos de inicio, abortar y reiniciar, cuando recibe el comando de inicio el bloque almacena las variables de PULSOS_MM (volumen del patrón), PULSOS_IBC1 (Volumen del instrumento bajo calibración prueba, PIT_MM (Presión del líquido en el patrón) TIT_MM (Temperatura del líquido en el patrón) PIT_IBC (Presión del líquido en el equipo bajo calibración) TIT_IBC (Temperatura del líquido en el equipo bajo prueba).

Figura 17

Bloque de Función PLC



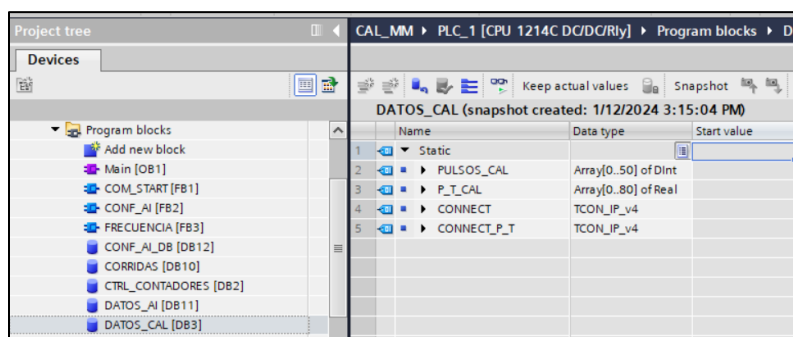
Nota. Elaboración propia en el software TIA Portal.

Control y Procesamiento en PLC

El CPU S7-1214C procesa las señales de entrada, determina el promedio de temperatura, presión y cantidad de pulsos, para ello usa el bloque corridas de la Figura 17, Adicionalmente, almacena los datos en DB (Base de datos) como se muestra en la Figura 18, para posteriormente ser transmitidos vía protocolo Modbus TCP/IP

Figura 18

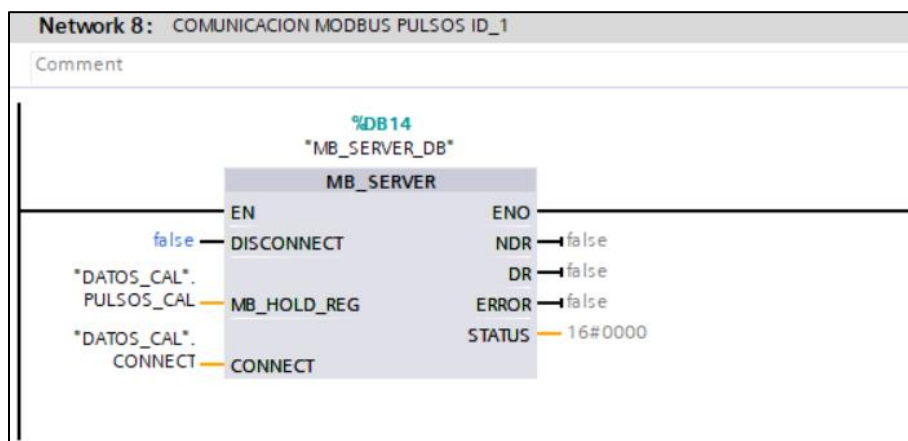
Almacenamiento de Datos en DB (Bases de Datos)



Nota. Elaboración propia en el software TIA Portal.

Comunicación

El PLC se comunica con la interfaz de usuario o HMI usando el protocolo Modbus TCP/IP, la Figura 19 muestra el bloque de función usado para la configuración y transmisión de datos.

Figura 19*Bloque de Función Transmisión de Datos TCP/IP*

Nota. Elaboración propia en TIA Portal.

Interfaz de Usuario (HMI)

La interfaz de usuario desarrollada en C# recibe los datos por protocolo Modbus TCP/IP, gestiona todas las fases de calibración, las pantallas se describen en el desarrollo de la Programación Visual del Lado del Operador (Frontend), la cual permite las siguientes funciones:

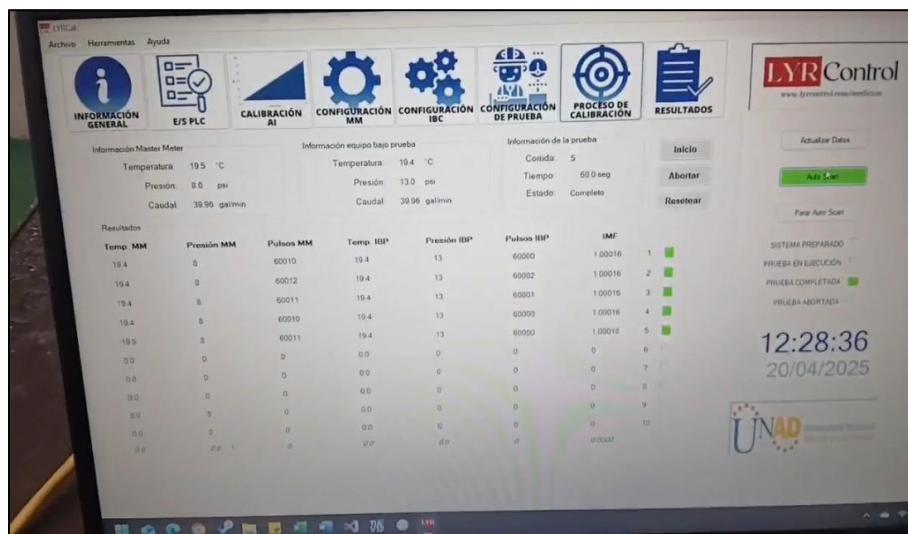
- Visualizar valores de temperatura, presión y caudal en tiempo real.
- Controlar remotamente el proceso.
- Guardar los datos de calibración en archivo PDF.

Ciclo Completo de Calibración

El operador inicia el proceso presionando el botón INICIO, el PLC comienza a registrar datos del medidor bajo prueba y del medidor maestro y almacena los datos en DB. (Base de datos), La interfaz de usuario lee los datos los almacenados en los DB del PLC, muestra los datos en tiempo real, y realiza los cálculos correspondientes de acuerdo con la normatividad API MPMS, en la Figura 20 se muestra una prueba realizada con un ciclo completo.

Figura 20

Ciclo Completo de Calibración



Nota. Fotografía propia del software desarrollado en Windows Forms (Visual Studio 2019).

Al finalizar, se genera un informe de calibración en cual se puede imprimir en PDF o la impresora que tenga asignada por defecto en hoja tamaño carta, la Figura 22 muestra un informe final de calibración emitido por el software.

Pruebas y Validación Funcional

Se realizaron pruebas experimentales con dos operadores diferentes (metrólogos), usando los dos métodos, manual y automatizado con PLC en simultáneo; Comparando los resultados obtenidos en las calibraciones, ver apéndice A con las pruebas funcionales del sistema.

En la Figura 21 se muestra el registro manual de datos que utilizó el operador durante la aplicación del método manual (apertura y cierre de válvulas), el operador registraba caudales, temperatura, presión durante las pruebas y finalizando la pasada registraba los volúmenes totales de los equipos (datos en azul), resultados finales en el cuadro rojo.

Figura 21

Registro Manual de la Prueba a 50 gal/min

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
Caudal (Q_MM) Inicio		49.99800	50.02200	50.03500	50.01900	50.01200	
Caudal (Q_MM) Final	gal/min	50.04200	50.01900	50.02100	50.03300	50.02900	
Promedio del Caudal (Q_MM)		50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C	25.34	25.37	25.41	25.45	25.48	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C	25.35	25.39	25.43	25.46	25.50	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	25.35	25.38	25.42	25.46	25.49	25.42
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	25.37	25.41	25.45	25.48	25.52	25.45
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
Promedio de (P_MM)	psi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Volumen Indicado (IV_MM)	gal	153.41630	198.19220	164.78470	152.83170	151.08920	164.1
Δt	°C	21.39	21.43	21.47	21.50	21.5369	21.5
ρt	kg/m3	996.949	996.940	996.930	996.921	996.912	996.930
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0.99793	0.99792	0.99791	0.99790	0.99789	0.99791
Factor de Corrección CPL_MM	-	1.00002	1.00002	1.00002	1.00002	1.00002	1.00002
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99789
Volumen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	153.095431	197.775880	164.436840	152.507679	150.767494	163.716665
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	
Volumen Indicado (IV_IBC)	gal	153.91107	198.815	165.303	153.313	151.555	164.58
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	25.31	25.34	25.37	25.41	25.45	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	25.31	25.36	25.39	25.42	25.47	
Promedio de (T_IBC)	°C	25.31	25.35	25.38	25.42	25.46	25.38
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	25.35	25.39	25.42	25.46	25.50	25.43
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	
Promedio de (P_IBC)	psi	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2
Δt	°C	21.37	21.41	21.44	21.48	21.52	21.4
ρt	kg/m3	996.955	996.945	996.937	996.928	996.916	996.936
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0.99794	0.99793	0.99792	0.99791	0.99790	0.99792
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0.99798	0.99797	0.99796	0.99795	0.99794	0.99796
Volumen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	153.599836	198.410408	164.965712	152.998758	151.242941	164.2435
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		0.99672	0.99680	0.99679	0.99679	0.99686	0.99679
% de Error		0.3295	0.3208	0.3216	0.3220	0.3154	0.3219

Nota. Elaboración propia en Excel.

La interfaz de usuario entrega un documento en formato PDF con los resultados de las pruebas como se evidencia en la Figura 22 (resultado final en el cuadro rojo).

Figura 22

Tiquete de Resultados Emitido por el Software Desarrollado

TIQUETE DE CALIBRACIÓN						
REPORTE #: R&R_MET1_CAL1			FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 22/04/2025 2:14:42 p. m.			
IDENTIFICACIÓN MASTER METER						
MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER		METER FACTOR: 0,9999			
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40		K-FACTOR: 1500			
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2					
IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA						
IBP_TAG: MTR-EQ-01	FABRICANTE: Micro Motion		METER FACTOR: 1,0000			
MODELO: CMF300M	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"		K-FACTOR: 1500			
SERIAL #: 499202						
CONDICIONES DE PROCESO						
CAUDAL (gal/min): 50,06	CORRIDAS: 5		% REP. MAX: 0,05			
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60		METODO: Average MF			
PASADAS MASTER METER						
#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	25,6	25,5	25,6	25,6	25,6	25,58
PRES_psi	7	7	7	7	7	7,0
CTLmm	0,99786	0,99789	0,99788	0,99788	0,99787	0,99788
CPLmm	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002
PULSOSmm	75120	75156	75135	75134	75141	75137,2
GSVmm	49,97	49,99	49,98	49,98	49,98	49,98
PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA						
#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,50
PRES_psi	13	13	13	13	13	13,0
CTLm	0,99790	0,99790	0,99790	0,99790	0,99790	0,99790
CPLm	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
PULSOSm	75332	75372	75357	75347	75353	75352,2
ISVm	50,12	50,14	50,13	50,13	50,13	50,13
IMF	0,99703	0,99701	0,99692	0,99703	0,99704	0,99701
RESUMEN DE RESULTADOS						
METER FACTOR FINAL: 0,9970		% ERROR: 0,300		% REPETIBILIDAD: 0,011		

Nota. Elaboración propia en Windows Forms (Visual Studio 2019).

En la Tabla 5 se muestran los resultados de las pruebas realizadas donde se comparan los factores (Meter Factor) obtenidos durante las pruebas manual y automatizada con PLC, la máxima diferencia encontrada fue de 0,03%.

Tabla 5

Resultados Pruebas Manuales y Automatizadas, Evaluando el MF

Caudal (gal/min)	MF Manual	MF con PLC	Diferencia entre MF	Diferencia %
50.02	0.9968	0.9970	0.0002	0.02
80.05	0.9970	0.9971	0.0001	0.01
120.08	0.9969	0.9969	0.0000	0.00
50.45	1.0009	1.0009	0.0000	0.00
80.04	1.0008	1.0009	0.0001	0.01
120.29	1.0008	1.0008	0.0000	0.00
50.33	0.9964	0.9967	0.0003	0.03
80.15	0.9968	0.9965	-0.0003	-0.03
120.76	0.9967	0.9968	0.0001	0.01
50.33	0.9996	0.9998	0.0002	0.02
80.14	1.0001	1.0004	0.0003	0.03
119.97	1.0004	1.0006	0.0002	0.02

Nota. Elaboración con base a los resultados obtenidos, apéndice A con las pruebas completas.

Se evaluaron los tiempos de ejecución de una calibración usando el método manual, comparando contra el método automatizado usando PLC; Los tiempos manuales se determinaron a partir del tiempo por corrida (pasada), tiempos operación de válvulas, y tiempos por toma de datos, el tiempo total se determinó a partir de la suma de las cinco pasadas que corresponden a una calibración, los cálculos se encuentran en la Figura 23.

Figura 23

Determinación Tiempo de Calibración Método Manual

		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5
Tiempo por corrida (volumen/caudal)	min	5.05	5.04	5.02	5.04	5.12
Tiempo operación de valvulas	min	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Tiempo toma de datos	min	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Tiempo por corrida	min	7.05	7.04	7.02	7.04	7.12
Tiempo total calibración manual de las 5 pasadas		35.27	min			

Nota. Elaboración propia en Excel.

Para el método de calibración automático con PLC, se configuró un tiempo por corrida de 60 segundos (1 min), para un total de 5 minutos y se estableció un tiempo muerto de 30 segundos (0,5 min) por estabilización de flujo y arranque de contadores, la Figura 24 muestra el cálculo para la determinación del tiempo que dura una calibración usando PLC.

Figura 24

Determinación Tiempo Usando el Método Automatizado con PLC

CONDICIONES DE PROCESO		
CAUDAL (gal/min): 50,06	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF
Tiempo por pasada	1.00	min
Tiempo muerto durante las 5 pasadas	0.50	min
Tiempo total calibración con PLC de las 5 pasadas	5.5	min

Nota. Elaboración propia en Excel.

Los resultados de la Tabla 6 demuestran que el método automático tiene una optimización en tiempo mayor al 80%, teniendo en cuenta que las pruebas se usaron equipos de buena resolución para medidores de baja resolución el tiempo en método manual puede incrementarse aún más.

Tabla 6

Resultados Pruebas Manuales y Automatizadas, Evaluando Tiempos.

Caudal de Prueba (gal/min)	Tiempo Manual (min)	Tiempo con PLC (min)	Diferencia de tiempo entre métodos (min)	Porcentaje de optimización de tiempo %
50.33	35.51	5.5	30.01	85%
80.14	35.46	5.5	29.96	84%
119.97	35.64	5.5	30.14	85%
50.33	34.78	5.5	29.28	84%
80.15	35.09	5.5	29.59	84%
120.76	35.02	5.5	29.52	84%
50.02	26.40	5.5	20.90	79%
80.05	35.27	5.5	29.77	84%
120.08	35.23	5.5	29.73	84%
50.45	35.32	5.5	29.82	84%
80.04	35.63	5.5	30.13	85%
120.29	35.36	5.5	29.86	84%

Nota. Elaboración con base a los resultados obtenidos, apéndice A con las pruebas completas.

Resultados

A partir de los resultados registrados en la Tabla 5, se obtuvieron los datos estadísticos de la Tabla 7, usando como referencia comparativa el método manual.

Tabla 7

Resultados Estadísticos de las Diferencias entre MF Manuales vs PLC

Media	0.010 %
Desviación estándar	0.017 %
Error Máximo	0.030 %
Error Mínimo	-0.030 %
Error Absoluto Medio	0.015 %
Error máximo ABS	0.030 %
RMS Error	0.019 %
Tamaño de muestra	12
Prueba t	2.0976
valor p	0.0598

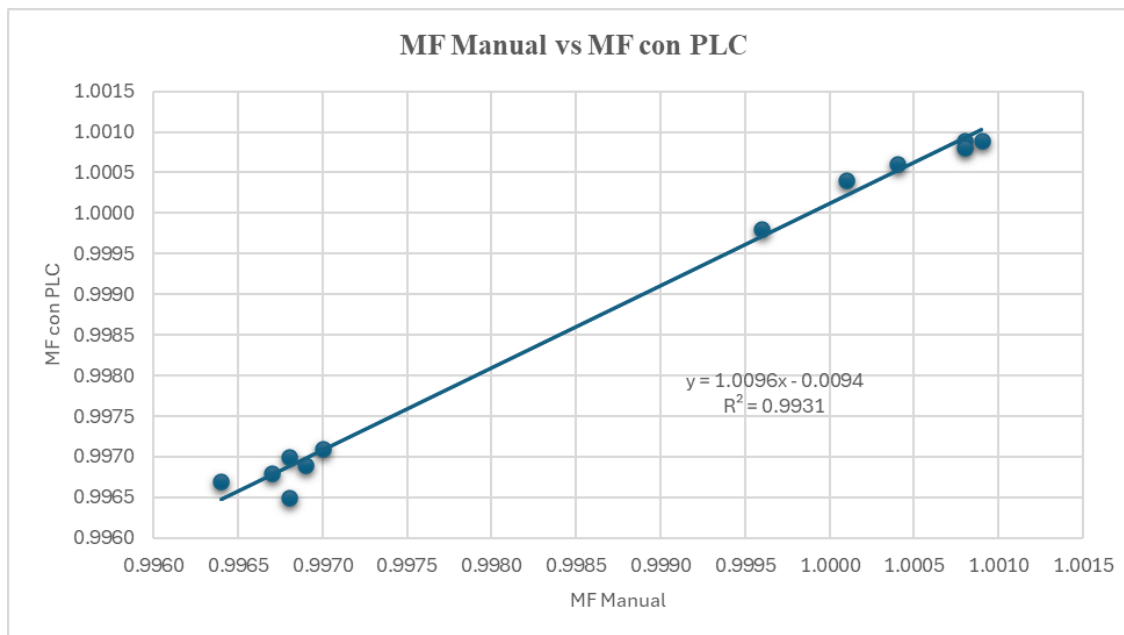
Nota. Resultados estadísticos básicos elaborados a partir de la información de la tabla 5.

El análisis estadístico realizado mediante la prueba t de Student para muestras apareadas arrojó un valor p de 0,0598, superior al nivel de significancia adoptado ($\alpha = 0,05$). En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que no existe evidencia estadísticamente significativa de diferencias entre los factores de medición obtenidos por el sistema basado en PLC y el método de referencia manual. No obstante, el tamaño de muestra sugiere interpretar este resultado con cautela y ampliarlo en estudios futuros.

La Figura 25 muestra la comparación del factor de medición (MF) obtenido por método manual y por sistema basado en PLC.

Figura 25

Gráfica Comparación Método Manual y Método Usando PLC



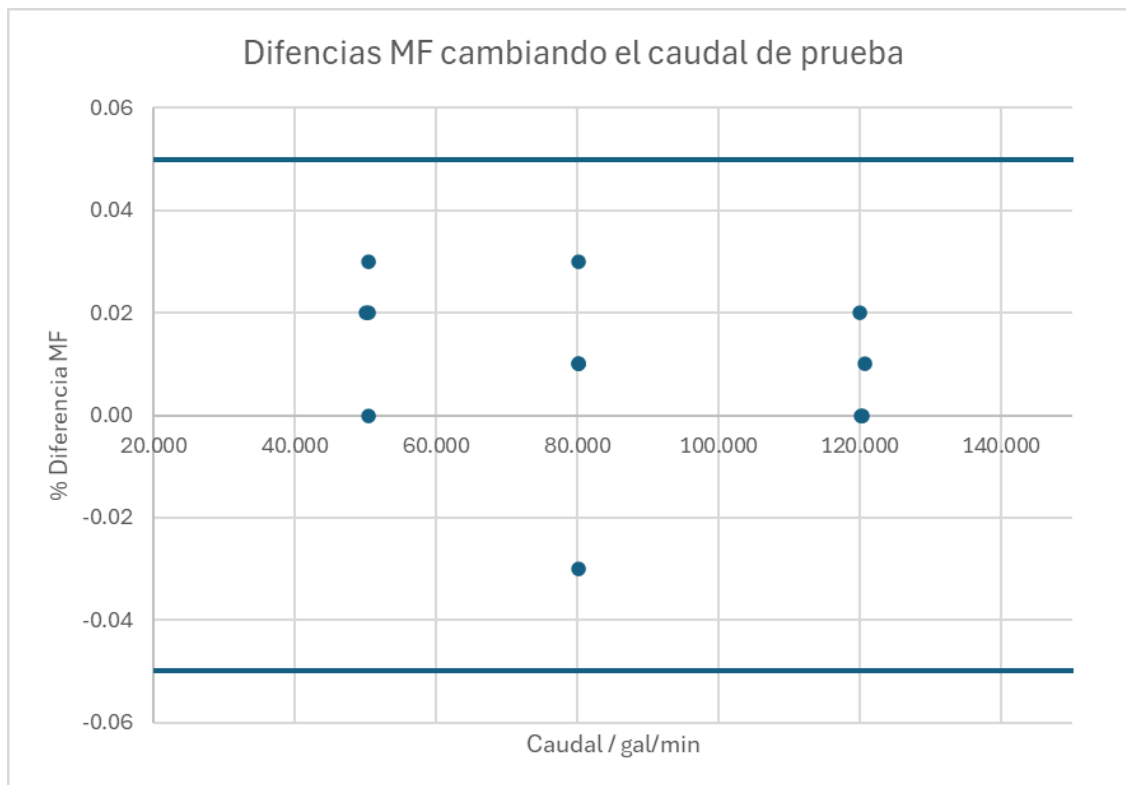
Nota. Elaboración propia en Excel.

La gráfica de dispersión evidencia una alta concordancia entre los factores de medición obtenidos mediante el método manual y el sistema basado en PLC. Los puntos se distribuyen cercanos a la recta de igualdad, sin desviaciones apreciables, lo que indica que ambos métodos producen resultados equivalentes bajo las condiciones de prueba establecidas por la norma API MPMS.

La Figura 26 muestra la diferencia porcentual del factor de medición en función del caudal de prueba

Figura 26

Gráfica Diferencia del Factor de Medición en Función del Caudal de Prueba



Nota. Elaboración propia en Excel.

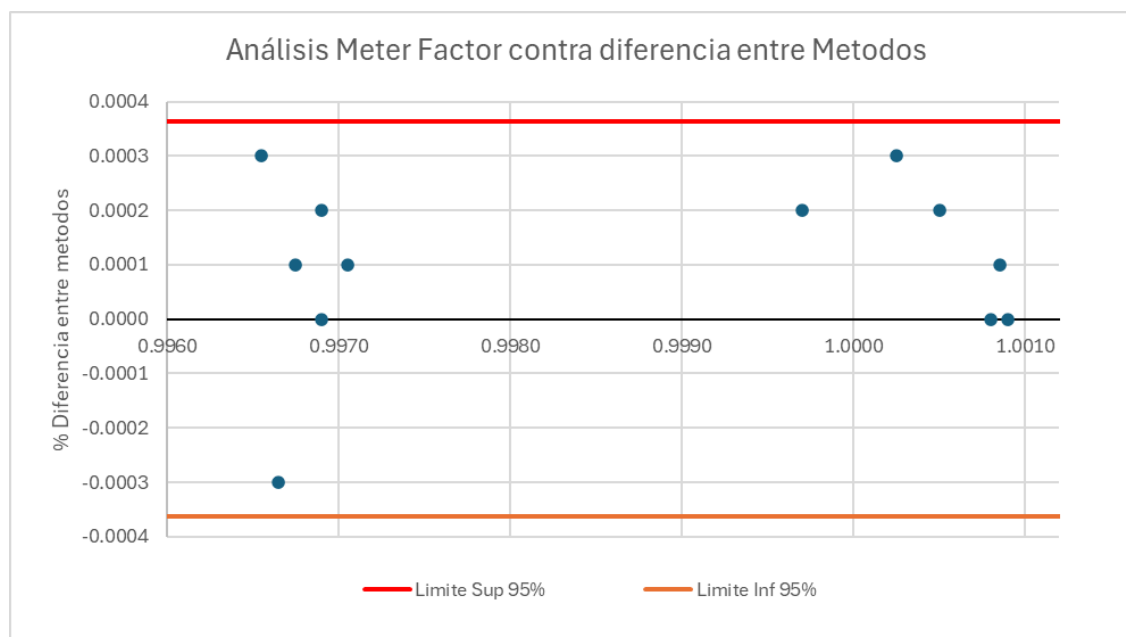
Se establecen límites del $\pm 0,05\%$ de exactitud determinado por la tecnología de medición de flujo tipo Coriolis, sin embargo, para sistemas de medición de transferencia en custodia se tienen establecidos límites de $\pm 0,15\%$; la diferencia porcentual entre el factor de medición calculado por el sistema PLC y el método manual se mantiene acotada y centrada alrededor de cero en todo el rango de caudales evaluado. No se observa dependencia sistemática

del error con el caudal, lo que demuestra la estabilidad y consistencia del sistema desarrollado en condiciones operativas representativas.

La Figura 27 muestra el análisis de concordancia Bland–Altman entre el método manual y el sistema PLC ($k = 2.20$, sesgo nulo)

Figura 27

Gráfica Análisis de Concordancia Bland–Altman



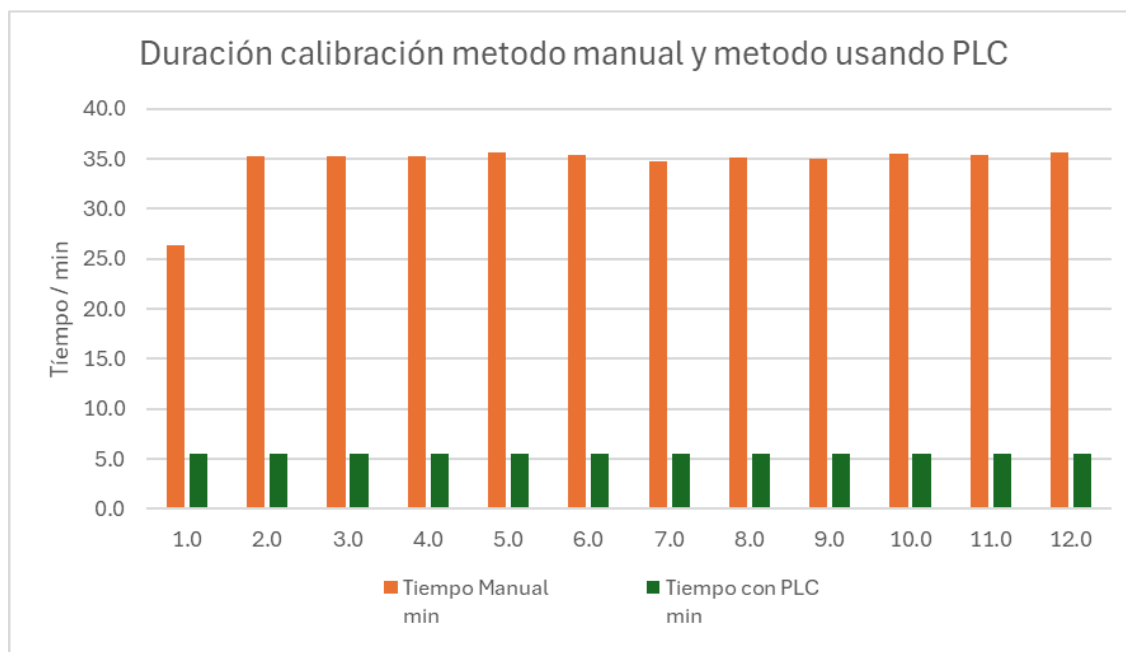
Nota. Elaboración propia en Excel.

El análisis de Bland–Altman muestra que las diferencias entre ambos métodos se encuentran mayoritariamente dentro de los límites de concordancia calculados con un factor de cobertura $k = 2,2$, correspondiente a 11 grados de libertad y un nivel de confianza del 95 %. Al asumir sesgo nulo, se confirma que la dispersión observada es atribuible a variaciones aleatorias y efectos de cuantización, validando la equivalencia metrológica entre el sistema basado en PLC y el método de referencia.

La gráfica de la Figura 28 muestra los tiempos de duración de una calibración usando métodos manuales y usando método automatizado con PLC.

Figura 28

Gráfica Comparación Tiempo de Calibración Usando los Dos Métodos



Nota. Elaboración propia en Excel.

El análisis de los tiempos de ejecución evidencia una reducción significativa en la duración de las corridas al emplear el sistema automatizado basado en PLC. Mientras que el método manual requiere entre 26 y 36 minutos por prueba, el sistema PLC mantiene un tiempo constante de 5.5 minutos, independientemente del caudal de operación. Esta automatización permite una optimización promedio del tiempo cercana al 84 %, mejorando sustancialmente la eficiencia, repetibilidad y planificación del proceso de medición.

Conclusiones

El desarrollo del computador de flujo basado en controladores lógicos programables (PLC) permitió demostrar la viabilidad técnica de implementar una solución automatizada orientada al proceso de calibración dinámica de medidores de flujo de líquidos mediante el método máster meter. En este sentido, el sistema propuesto se consolidó como una alternativa funcional para mejorar la precisión, la repetibilidad y la eficiencia en las tareas de calibración.

Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias del orden de 0,03 % frente a los métodos manuales utilizados como referencia, valor que se encuentra dentro de los límites aceptables considerando una repetibilidad típica de 0,05 % para medidores de flujo tipo Coriolis.

El análisis normativo realizado, sustentado principalmente en API MPMS Capítulos 4.8, 11.4.1 y 12.2, permitió definir los requerimientos funcionales mínimos del sistema y orientar la implementación de las rutinas de cálculo y proving. En consecuencia, el proyecto no solo resolvió una necesidad instrumental, sino que también estableció una base técnica alineada con lineamientos reconocidos para la medición dinámica de líquidos.

Respecto al diseño de la arquitectura del sistema, la selección de PLC se realizó teniendo en cuenta la oferta de mercado, especificaciones técnicas especialmente la capacidad de manejo de entradas de pulsos de alta velocidad, protocolos de comunicación, la compatibilidad de componente electrónicos y el bajo costo, lo que permitió estructurar una plataforma robusta para la adquisición, el procesamiento y el control de las variables involucradas en la calibración de medidores de flujo.

El desarrollo del software, junto con la interfaz de operación, se orientó a garantizar la facilidad de uso del sistema, de modo que pueda ser operado por personal con capacitación básica. Para ello, se implementó una lógica de funcionamiento secuencial que facilita la

supervisión del proceso, la manipulación de las variables principales y la ejecución de las funciones esenciales propias de un computador de flujo.

La automatización del proceso de calibración permitió reducir significativamente el tiempo de ejecución en comparación con los métodos manuales tipo stop-start-stop con válvulas, alcanzando una mejora en la eficiencia operativa del 80 % (véase Figura 28). Estos resultados evidencian que el sistema propuesto tiene el potencial de reemplazar u optimizar los procedimientos manuales, contribuyendo a la disminución de errores asociados a la intervención humana y al incremento de la consistencia en los resultados de calibración.

Referencias Bibliográficas

- ABB. (s.f.). Spirit IT Flow-X series: High accuracy flow computers.
<https://new.abb.com/products/measurement-products/flow-computers/spirit-it-flow-x-series>
- American Gas Association. (2013). AGA report no. 3: Orifice metering of natural gas and other related hydrocarbon fluids. https://www.aga.org/resource_type/reports/
- American Petroleum Institute. (2021). Manual of petroleum measurement standards, Chapter 4.8: Operation of proving systems (3rd ed.). <https://www.apiwebstore.org/>
- American Petroleum Institute. (2025). Manual of petroleum measurement standards, Chapter 12.2: Calculation of petroleum quantities using dynamic measurement methods and volumetric correction factors (3rd ed.). <https://www.apiwebstore.org/>
- Bureau International des Poids et Mesures. (2025). Le Système international d'unités/The International System of Units (9th ed.) [Brochure]. <https://doi.org/10.59161/AUEZ1291>
- Buzón González, F. J., Leyva Labrador, Y. C., & Inchaustieta Ramos, R. C. (2019). Diagnóstico metrológico de una instalación automatizada de calibración de metrocontadores con agua como líquido de trabajo. Boletín Científico Técnico INIMET, 37(1-2), 98-104.
https://www.inimet.cu/wp-content/uploads/2023/02/Numero-completo-BCT-1-2_2019.pdf
- Cayata Sotelo, G. C. B. (2023). Diseño de un sistema de control automático de flujo para mejorar la calidad en el servicio de verificación inicial de medidores de gas de uso industrial [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/7962>

- Centro Español de Metrología. (2012). Vocabulario internacional de metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (3.ª ed. en español).
<https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf>
- Coelho, G. E., Pinheiro, A., Ribeiro, Á. S., Simões, C., & Martins, L. L. (2024). Automating flowmeter calibration process: Digital measurements from numerical displays using open-source optical character recognition tools. *Acta IMEKO*, 13(3), 1-6.
<https://doi.org/10.21014/actaimeko.v13i3.1767>
- Cuéllar Rojas, E. (2023). Mejora de la gestión de calidad en la distribución de gas: Optimización de computadores de flujo en Sur Colombiana de Gas [Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65318>
- Dias Pereira, J. M., Alves, M., Viegas, V., Postolache, O., & Girão, P. S. (2016). An automated test and measurement system for calibration of industrial flowmeters. In *Proceedings of the 21st IMEKO TC4 International Symposium and the 19th International Workshop on ADC Modelling and Testing* (pp. 89-92). <https://www.imeko.info/publications/tc4-2016/IMEKO-TC4-2016-17.pdf>
- Emerson. (2023). FloBoss S600+ flow computer [Product data sheet].
<https://www.emerson.com/documents/automation/S600-Product-Data-Sheet-en-132238.pdf>
- Endress+Hauser. (2022). Master meter system DSK1MM [Operating instructions].
<https://www.mesc.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/master-meter-control-system-dsk1mm>

International Organization for Standardization. (2003). ISO 5167-1:2003 measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full—Part 1: General principles and requirements.

<https://www.iso.org/standard/28064.html>

KROHNE. (s.f.). Provers and master meters. <https://krohne.com/en/solutions/flow-metering-solutions/provers-master-meters>

Metrologic. (2024). Inspección de medidores de flujo por el método master meter.

<https://metrologic.com.ec/inspeccion-de-medidores-de-flujo-por-el-metodo-master-meter>

Ministerio de Minas y Energía. (2022). Resolución 40236 de 2022: Reglamento técnico aplicable a la medición de hidrocarburos líquidos y gaseosos en Colombia.

<https://normativame.minenergia.gov.co/normatividad/6259/norma/>

National Institute of Standards and Technology. (2019). NIST special publication 811: Guide for the use of the International System of Units (SI). U.S. Department of Commerce.

<https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>

Park, S., Yoon, B.-R., Choi, H.-M., & Lee, Y. B. (2017). Water flow meter calibration with a master meter method. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 18(8), 1075-1083. <https://doi.org/10.1007/s12541-017-0126-0>

Rockwell Automation. (s.f.). Fundamentals of programmable logic controllers, sensors, and communications. <https://www.rockwellautomation.com>

Siemens. (s.f.). Automation systems: PLCs and their applications in industry.

<https://www.siemens.com>

Vargas Burgos, B. F. (2019). Automatización del proceso de calibración para medidores de gas de tipo diafragma, rotativo, turbina y ultrasónico [Trabajo de grado, Universidad

Pontificia Bolivariana]. Repositorio UPB.

<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8497>

Włodarczak, S., Ochowiak, M., Doligalski, M., Kwapisz, B., Krupińska, A., Mrugalski, M., & Matuszak, M. (2021). Flow rate control by means of flow meter and PLC controller.

Sensors, 21(18), Article 6153. <https://doi.org/10.3390/s21186153>

Zhai, H., Song, X., Wang, X., & Liu, G. (2024). Design of a flow automatic calibration system based on the master meter and dynamic weighing methods. *IEEE Access*, 12, 37141-

37151. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3370569>

Zhang, S., Wang, X., Ma, M., Peng, H., & Du, K. (2023). Automatic piston-type flow standard device calibration system. *Mathematics*, 11(18), Article 3802.

<https://doi.org/10.3390/math11183802>

Apéndices

Apéndice A

Pruebas Funcionales del Sistema

A continuación, en la Tabla 8 se presentan los documentos de soporte correspondientes a las pruebas realizadas al computador de flujo. Estos se encuentran organizados por metrólogo, modelo del instrumento bajo prueba o calibración (IBC), caudal de prueba y método de ejecución, ya sea manual o automatizado mediante PLC. Los archivos conservan su formato original en PDF con el fin de mantener la integridad de la información técnica.

Tabla 8

Organización de los Documentos de Soporte

N.º	Metrólogo	Modelo IBC	Caudal	Método
1	Metrólogo 1	CMF200	50 gal/min	Manual
2	Metrólogo 1	CMF200	50 gal/min	Automatizado con PLC
3	Metrólogo 1	CMF200	80 gal/min	Manual
4	Metrólogo 1	CMF200	80 gal/min	Automatizado con PLC
5	Metrólogo 1	CMF200	120 gal/min	Manual
6	Metrólogo 1	CMF200	120 gal/min	Automatizado con PLC
7	Metrólogo 1	CMF300	50 gal/min	Manual
8	Metrólogo 1	CMF300	50 gal/min	Automatizado con PLC
9	Metrólogo 1	CMF300	80 gal/min	Manual
10	Metrólogo 1	CMF300	80 gal/min	Automatizado con PLC
11	Metrólogo 1	CMF300	120 gal/min	Manual

N.º	Metrólogo	Modelo IBC	Caudal	Método
12	Metrólogo 1	CMF300	120 gal/min	Automatizado con PLC
13	Metrólogo 2	CMF200	50 gal/min	Manual
14	Metrólogo 2	CMF200	50 gal/min	Automatizado con PLC
15	Metrólogo 2	CMF200	80 gal/min	Manual
16	Metrólogo 2	CMF200	80 gal/min	Automatizado con PLC
17	Metrólogo 2	CMF200	120 gal/min	Manual
18	Metrólogo 2	CMF200	120 gal/min	Automatizado con PLC
19	Metrólogo 2	CMF300	50 gal/min	Manual
20	Metrólogo 2	CMF300	50 gal/min	Automatizado con PLC
21	Metrólogo 2	CMF300	80 gal/min	Manual
22	Metrólogo 2	CMF300	80 gal/min	Automatizado con PLC
23	Metrólogo 2	CMF300	120 gal/min	Manual
24	Metrólogo 2	CMF300	120 gal/min	Automatizado con PLC

Nota. Los documentos se presentan a continuación en el mismo orden mostrado en la tabla.

DESCRIPCIÓN		UNIDADES	AS FOUND					
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)			Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
Caudal (Q_MM) Inicio			49,99800	50,02200	50,03500	50,01900	50,01200	
Caudal (Q_MM) Final	gal/min		50,04200	50,01900	50,02100	50,03300	50,02900	
Promedio del Caudal (Q_MM)			50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C		25,34	25,37	25,41	25,45	25,48	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C		25,35	25,39	25,43	25,46	25,50	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C		25,35	25,38	25,42	25,46	25,49	25,42
Promedio de (T_MM) Corregida	°C		25,37	25,41	25,45	25,48	25,52	25,45
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi		7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi		7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	
Promedio de (P_MM)	psi		7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi		7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Volumen Indicado (IV_MM)	gal		153,41630	198,19220	164,78470	152,83170	151,08920	164,1
Δt	°C		21,39	21,43	21,47	21,50	21,5369	21,5
pt	kg/m3		996,949	996,940	996,930	996,921	996,912	996,930
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-		0,99793	0,99792	0,99791	0,99790	0,99789	0,99791
Factor de Corrección CPL_MM	-		1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-		0,99791	0,9979	0,9979	0,9979	0,9979	0,99789
Volumen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal		153,095431	197,775880	164,436840	152,507679	150,767494	163,716665
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA			Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
Volumen Indicado (IV_IBC)	gal		153,91107	198,815	165,303	153,313	151,555	164,58
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C		25,31	25,34	25,37	25,41	25,45	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C		25,31	25,36	25,39	25,42	25,47	
Promedio de (T_IBC)	°C		25,31	25,35	25,38	25,42	25,46	25,38
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C		25,35	25,39	25,42	25,46	25,50	25,43
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi		13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi		13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Promedio de (P_IBC)	psi		13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi		13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2
Δt	°C		21,37	21,41	21,44	21,48	21,52	21,4
pt	kg/m3		996,955	996,945	996,937	996,928	996,916	996,936
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-		0,99794	0,99793	0,99792	0,99791	0,99790	0,99792
Factor de Corrección CPL_IBC	-		1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-		0,99798	0,99797	0,99796	0,99795	0,99794	0,99796
Volumen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal		153,599836	198,410408	164,965712	152,998758	151,242941	164,2435
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF			Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)			0,99672	0,99680	0,99679	0,99679	0,99686	0,99679
% de Error			0,3295	0,3208	0,3216	0,3220	0,3154	0,3219
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN								
	Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
	gal/min	L/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
	50,023	189,358	0,32	0,014	0,99679	5,00	2,01	0,026
	Tiempo por corrida (Volumen/Caudal)	min	3,07	3,96	3,29	3,05	3,02	
	Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
	Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
	Tiempo por corrida	min	5,07	5,96	5,29	5,05	5,02	
	Tiempo total calibración manual		26,40	min				
	Tiempo total calibración con PLC		5,5	min				
	MF Manual		0,9968					
	MF con PLC		0,9970					

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_CAL1

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 22/04/2025 2:14:42 p. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 0,9999
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-01	FABRICANTE: Micro Motion	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300M	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 50,06	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	25,6	25,5	25,6	25,6	25,6	25,58
PRES_psi	7	7	7	7	7	7,0
CTLmm	0,99786	0,99789	0,99788	0,99788	0,99787	0,99788
CPLmm	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002
PULSOSmm	75120	75156	75135	75134	75141	75137,2
GSVmm	49,97	49,99	49,98	49,98	49,98	49,98

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,50
PRES_psi	13	13	13	13	13	13,0
CTLm	0,99790	0,99790	0,99790	0,99790	0,99790	0,99790
CPLm	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
PULSOSm	75332	75372	75357	75347	75353	75352,2
ISVm	50,12	50,14	50,13	50,13	50,13	50,13
IMF	0,99703	0,99701	0,99692	0,99703	0,99704	0,99701

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 0,9970	% ERROR: 0,300	% REPETIBILIDAD: 0,011
----------------------------	----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS							
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
Caudal (Q_MM) Inicio		80,03100	80,07200	80,02000	80,06500	80,03300	
Caudal (Q_MM) Final	gal/min	80,11200	80,05400	80,05400	80,03200	80,06200	
Promedio del Caudal (Q_MM)		80,1	80,1	80,0	80,0	80,0	80,1
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C	25,67	25,81	25,93	26,04	26,25	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C	25,74	25,88	26,00	26,13	26,25	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	25,71	25,85	25,97	26,09	26,25	25,97
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	25,73	25,87	25,99	26,11	26,28	26,00
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Promedio de (P_MM)	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Volumen Indicado (IV_MM)	gal	403,13030	401,92480	400,67350	402,36830	408,62440	403,3
Δt	°C	21,75	21,89	22,01	22,13	22,2949	22,0
pt	kg/m3	996,855	996,818	996,787	996,755	996,711	996,785
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99784	0,99780	0,99777	0,99774	0,99769	0,99777
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99794	0,9979	0,9979	0,9978	0,9978	0,99787
Volumen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	402,299464	401,081606	399,820191	401,498534	407,723082	402,484575
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	
Volumen Indicado (IV_IBC)	gal	404,36502	403,159	401,907	403,602	409,867	404,58
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	25,62	25,75	25,88	26,01	26,13	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	25,69	25,83	25,96	26,08	26,21	
Promedio de (T_IBC)	°C	25,66	25,79	25,92	26,05	26,17	25,92
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	25,70	25,83	25,96	26,09	26,21	25,96
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	
Promedio de (P_IBC)	psi	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Δt	°C	21,71	21,85	21,98	22,10	22,23	22,0
pt	kg/m3	996,865	996,829	996,795	996,762	996,729	996,796
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99785	0,99781	0,99778	0,99774	0,99771	0,99778
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99792	0,99788	0,99785	0,99781	0,99778	0,99785
Volumen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	403,52197	402,304061	401,041292	402,718834	408,956303	403,7085
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		0,99697	0,99696	0,99696	0,99697	0,99698	0,99697
% de Error		0,3039	0,3048	0,3054	0,3039	0,3025	0,3041
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN							
Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
gal/min	L/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
80,054	303,035	0,30	0,003	0,99697	5,00	2,01	0,026

		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5
Tiempo por corrida (volumen/caudal)	min	5,05	5,04	5,02	5,04	5,12
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min	7,05	7,04	7,02	7,04	7,12
Tiempo total calibración manual de las 5 pasadas		35,27	min			
Tiempo por pasada		1,00	min			
Tiempo muerto durante las 5 pasadas		0,50	min			
Tiempo total calibración con PLC de las 5 pasadas		5,5	min			
MF Manual		0,9970				
MF con PLC		0,9971				

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_CAL1

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 22/04/2025 2:57:21 p. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 1,0001
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-01	FABRICANTE: Micro Motion	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300M	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 79,78	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	26,5	26,5	26,5	26,5	26,6	26,52
PRES_psi	10	10	10	10	10	10,0
CTLmm	0,99764	0,99763	0,99762	0,99762	0,99761	0,99763
CPLmm	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
PULSOSmm	119833	119722	119754	119724	119685	119743,6
GSVmm	79,71	79,64	79,66	79,64	79,61	79,65

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	26,3	26,3	26,4	26,4	26,4	26,36
PRES_psi	23	23	23	23	23	23,0
CTLm	0,99768	0,99768	0,99767	0,99766	0,99766	0,99767
CPLm	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007
PULSOSm	120179	120067	120109	120056	120037	120089,6
ISVm	79,94	79,86	79,89	79,86	79,84	79,88
IMF	0,99714	0,99713	0,99706	0,99726	0,99708	0,99713

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 0,9971	% ERROR: 0,287	% REPETIBILIDAD: 0,020
----------------------------	----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS							
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					
		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)							
Caudal (Q_MM) Inicio	gal/min	120,06500	120,08000	120,10000	120,08000	120,07000	
Caudal (Q_MM) Final	gal/min	120,07000	120,07000	120,07000	120,09000	120,08000	
Promedio de Caudal (Q_MM)	gal/min	120,1	120,1	120,1	120,1	120,1	120,1
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C	26,65	26,74	26,83	26,92	27,01	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C	26,72	26,81	26,90	26,99	27,05	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	26,69	26,78	26,87	26,96	27,03	26,86
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	26,71	26,80	26,89	26,98	27,05	26,89
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Promedio de (P_MM)	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Volúmen Indicado (IV_MM)	gal	604,27710	602,39810	603,87210	603,99800	604,88120	603,9
Δt	°C	22,73	22,82	22,91	23,00	23,0727	22,9
ρt	kg/m ³	996,593	996,569	996,544	996,520	996,499	996,545
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99758	0,99755	0,99753	0,99750	0,99748	0,99753
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99785	0,9978	0,9978	0,9978	0,9978	0,99780
Volúmen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	602,977764	601,088025	602,543959	602,654673	603,523433	602,557571
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA							
Volúmen Indicado (IV_IBC)	gal	606,27381	604,38312	605,85910	605,99410	606,86983	605,88
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	26,61	26,70	26,78	26,87	26,96	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	26,68	26,77	26,85	26,94	27,01	
Promedio de (T_IBC)	°C	26,65	26,74	26,82	26,91	26,99	26,82
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	26,68	26,77	26,85	26,94	27,02	26,86
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	
Promedio de (P_IBC)	psi	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
Δt	°C	22,70	22,79	22,87	22,96	23,04	22,9
ρt	kg/m ³	996,601	996,576	996,554	996,530	996,508	996,554
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99758	0,99756	0,99754	0,99751	0,99749	0,99754
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99769	0,99766	0,99764	0,99761	0,99759	0,99764
Volúmen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	604,870394	602,969259	604,428543	604,548279	605,40858	604,4450
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF							
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		0,99687	0,99688	0,99688	0,99687	0,99689	0,99688
% de Error		0,3139	0,3130	0,3128	0,3142	0,3124	0,3132
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN							
Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
gal/min	l/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
120,078	454,543	0,31	0,002	0,99688	5,00	2,01	0,026

Tiempo por corrida	min	5,05	5,03	5,05	5,05	5,05
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min	7,05	7,03	7,05	7,05	7,05
Tiempo total calibración manual		35,23	min			
Tiempo total calibración con PLC		5,5	min			
MF Manual		0,9969				
MF con PLC		0,9969				

Caudal de Prueba Gal/min	MF Manual	MF con PLC	Diferencia entre MF	Diferencia %
50,02	0,9968	0,9970	-0,0002	-0,02
80,05	0,9970	0,9971	-0,0001	-0,01
120,08	0,9969	0,9969	0,0000	0,00

Caudal de Prueba	Tiempo Manual	Tiempo con PLC	Diferencia de tiempo	Porcentaje de
50,02	26,40	5,5	20,90	79%
80,05	35,27	5,5	29,77	84%
120,08	35,23	5,5	29,73	84%

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_CAL1

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 22/04/2025 3:04:42 p. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 1,0001
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-01	FABRICANTE: Micro Motion	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300M	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 120,29	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	26,9	26,8	26,8	27,0	27,1	26,91
PRES_psi	10	10	10	10	10	10,0
CTLmm	0,99753	0,99755	0,99754	0,99750	0,99747	0,99752
CPLmm	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
PULSOSmm	180609	180555	180592	180506	180522	180556,8
GSVmm	120,12	120,09	120,11	120,05	120,06	120,09

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	26,4	26,5	26,6	26,6	26,6	26,55
PRES_psi	25	33	33	33	33	31,3
CTLm	0,99765	0,99762	0,99761	0,99761	0,99761	0,99762
CPLm	1,00008	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010
PULSOSm	181134	181102	181161	181079	181074	181110
ISVm	120,48	120,46	120,50	120,44	120,44	120,46
IMF	0,99704	0,99694	0,99682	0,99676	0,99685	0,99688

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 0,9969	% ERROR: 0,313	% REPETIBILIDAD: 0,027
----------------------------	----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_MM_MM

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 16/04/2025 3:16:35 p. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 0,9999
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-001	FABRICANTE: MICROMOTION	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 50,47	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	23,6	23,5	23,4	23,4	23,4	23,48
PRES_psi	8	8	8	8	8	8,0
CTLmm	0,99838	0,99840	0,99842	0,99842	0,99841	0,99841
CPLmm	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
PULSOSmm	75728	75735	75760	75799	75791	75762,6
GSVmm	50,40	50,41	50,42	50,45	50,44	50,42

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	23,2	23,3	23,3	23,3	23,3	23,28
PRES_psi	13	13	13	13	13	13,0
CTLm	0,99847	0,99845	0,99845	0,99845	0,99845	0,99845
CPLm	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
PULSOSm	75649	75654	75671	75723	75702	75679,8
ISVm	50,36	50,36	50,37	50,41	50,39	50,38
IMF	1,00083	1,00091	1,00103	1,00085	1,00102	1,00093

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 1,0009	% ERROR: -0,093	% REPETIBILIDAD: 0,020
----------------------------	-----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS							
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					
		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)							
Caudal (Q_MM) Inicio	gal/min	80,07000	79,98700	80,00700	80,11900	79,99200	
Caudal (Q_MM) Final		80,11200	80,09100	79,99800	80,07200	80,00100	
Promedio de Caudal (Q_MM)		80,1	80,0	80,0	80,1	80,0	80,0
Temperatura del Medidor Maestro(T_MM) Inicio	°C	23,76	23,91	24,07	24,18	24,33	
Temperatura del Medidor Maestro(T_MM) Final	°C	23,85	23,96	24,12	24,24	24,38	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	23,81	23,94	24,10	24,21	24,36	24,08
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	23,84	23,97	24,13	24,24	24,39	24,11
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	
Promedio de (P_MM)	psi	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
Volúmen Indicado (IV_MM)	gal	416,27680	402,68370	401,89420	402,22660	429,07410	410,4
Δt	°C	19,86	19,99	20,15	20,26	20,4048	20,1
pt	kg/m3	997,338	997,306	997,266	997,238	997,201	997,270
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99832	0,99829	0,99825	0,99822	0,99818	0,99825
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99843	0,9984	0,9984	0,9983	0,9983	0,99837
Volúmen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	415,624931	402,040250	401,236117	401,556478	428,343712	409,760298
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA							
Volúmen Indicado (IV_IBC)	gal	415,90536	402,356	401,591	401,912	428,723	410,10
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	23,73	23,87	24,04	24,16	24,30	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	23,82	23,93	24,09	24,22	24,35	
Promedio de (T_IBC)	°C	23,78	23,90	24,07	24,19	24,33	24,05
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	23,82	23,95	24,11	24,23	24,37	24,10
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	
Promedio de (P_IBC)	psi	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
Δt	°C	19,84	19,96	20,13	20,25	20,39	20,1
pt	kg/m3	997,342	997,311	997,270	997,239	997,206	997,274
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99832	0,99829	0,99825	0,99822	0,99819	0,99826
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99840	0,99837	0,99833	0,99830	0,99826	0,99833
Volúmen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	415,239502	401,699338	400,918912	401,226954	427,978435	409,4126
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF							
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		1,00093	1,00085	1,00079	1,00082	1,00085	1,00085
% de Error		-0,0927	-0,0848	-0,0791	-0,0821	-0,0853	-0,0848
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN							
Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
gal/min	l/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
80,045	303,003	-0,08	0,014	1,00085	5,00	2,01	0,026

Tiempo por corrida	min	5,20	5,03	5,02	5,02	5,36
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min	7,20	7,03	7,02	7,02	7,36
Tiempo total calibración manual		35,63	min			
Tiempo total calibración con PLC		5,5	min			
MF Manual		1,0008				
MF con PLC		1,0009				

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_MM_MM

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 16/04/2025 4:29:20 p. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 1,0001
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-001	FABRICANTE: MICROMOTION	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 79,38	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	24,7	24,7	24,7	24,8	24,8	24,75
PRES_psi	14	14	14	14	14	14,0
CTLmm	0,99810	0,99810	0,99809	0,99809	0,99808	0,99809
CPLmm	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
PULSOSmm	119159	119162	119150	119114	119131	119143,2
GSVmm	79,30	79,30	79,29	79,27	79,28	79,29

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,50
PRES_psi	24	24	24	24	24	24,0
CTLm	0,99816	0,99816	0,99816	0,99816	0,99816	0,99816
CPLm	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007
PULSOSm	119040	119051	119037	119011	119027	119033,2
ISVm	79,22	79,23	79,22	79,20	79,21	79,22
IMF	1,00102	1,00094	1,00096	1,00086	1,00087	1,00093

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 1,0009	% ERROR: -0,093	% REPETIBILIDAD: 0,015
----------------------------	-----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS							
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					Promedios
		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)							
Caudal (Q_MM) Inicio		120,24000	120,65000	120,15000	119,89000	119,99000	
Caudal (Q_MM) Final	gal/min	120,46000	120,67000	120,82000	119,99000	120,03000	
Promedio del Caudal (Q_MM)		120,4	120,7	120,5	119,9	120,0	120,3
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C	24,91	25,13	25,34	25,57	25,75	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C	25,07	25,29	25,50	25,70	25,86	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	24,99	25,21	25,42	25,64	25,81	25,41
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	25,02	25,24	25,45	25,66	25,83	25,44
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Promedio de (P_MM)	psi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Volumen Indicado (IV_MM)	gal	611,42860	604,35880	604,44680	610,45710	622,17670	610,6
Δt		21,04	21,26	21,47	21,68	21,8511	21,5
ρt	kg/m3	997,041	996,984	996,930	996,874	996,829	996,932
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99802	0,99797	0,99791	0,99786	0,99781	0,99791
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99830	0,9982	0,9982	0,9981	0,9981	0,99819
Volumen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	610,387876	603,295872	603,350776	609,315855	620,985696	609,467215
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA							
Volumen Indicado (IV_IBC)	gal	611,02380	603,952	604,108	610,037	621,794	610,18
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	24,86	25,07	25,29	25,52	25,70	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	25,01	25,23	25,44	25,65	25,81	
Promedio de (T_IBC)	°C	24,94	25,15	25,37	25,59	25,76	25,36
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	24,98	25,19	25,41	25,63	25,80	25,40
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	
Promedio de (P_IBC)	psi	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3
Δt	°C	21,00	21,21	21,43	21,64	21,81	21,4
ρt	kg/m3	997,052	996,996	996,941	996,883	996,839	996,942
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99803	0,99798	0,99792	0,99787	0,99782	0,99792
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00009	1,00009	1,00009	1,00009	1,00009	1,00009
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99812	0,99807	0,99801	0,99796	0,99791	0,99802
Volumen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	609,878021	602,785792	602,907823	608,790414	620,495653	608,9715
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF							
		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		1,00084	1,00085	1,00073	1,00086	1,00079	1,00081
% de Error		-0,0835	-0,0845	-0,0734	-0,0862	-0,0789	-0,0813
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN							
Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
gal/min	L/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
120,289	455,343	-0,08	0,013	1,00081	5,00	2,01	0,027

Tiempo por corrida	min	5,08	5,01	5,00	5,09	5,18
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min	7,08	7,01	7,00	7,09	7,18
Tiempo total calibración manual		35,36	min			
Tiempo total calibración con PLC		5,5	min			
MF Manual	1,0008					
MF con PLC	1,0008					

Caudal de Prueba	MF Manual	MF con PLC	Diferencia entre MF	Diferencia %
50,45	1,0009	1,0009	0,0000	0,00
80,04	1,0008	1,0009	-0,0001	-0,01
120,29	1,0008	1,0008	0,0000	0,00

Caudal de Prueba	Tiempo Manual	Tiempo con PLC	Diferencia de tiempo	Porcentaje de
50,45	35,32	5,5	29,82	84%
80,04	35,63	5,5	30,13	85%
120,29	35,36	5,5	29,86	84%

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_MM_MM

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 16/04/2025 5:21:40 p. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 1,0002
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-001	FABRICANTE: MICROMOTION	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 120,42	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	26,5	26,5	26,5	26,6	26,6	26,52
PRES_psi	10	10	10	10	10	10,0
CTLmm	0,99765	0,99764	0,99763	0,99762	0,99761	0,99763
CPLmm	1,04561	1,04561	1,04560	1,04560	1,04559	1,04560
PULSOSmm	180772	180733	180840	180755	180683	180756,6
GSVmm	125,74	125,71	125,78	125,72	125,67	125,73

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,30
PRES_psi	30	30	30	30	30	30,0
CTLm	0,99769	0,99769	0,99769	0,99769	0,99769	0,99769
CPLm	1,04569	1,04569	1,04569	1,04569	1,04569	1,04569
PULSOSm	180637	180592	180708	180615	180552	180620,8
ISVm	125,64	125,60	125,68	125,62	125,58	125,62
IMF	1,00083	1,00085	1,00079	1,00082	1,00076	1,00081

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 1,0008	% ERROR: -0,081	% REPETIBILIDAD: 0,006
----------------------------	-----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS							
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
Caudal (Q_MM) Inicio	gal/min	50,23700	50,24200	50,29100	50,22000	50,21900	
Caudal (Q_MM) Final		50,39100	50,45800	50,41100	50,47900	50,33400	
Promedio del Caudal (Q_MM)		50,3	50,4	50,4	50,3	50,3	50,3
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C	18,44	18,52	18,60	18,71	18,78	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C	18,47	18,54	18,62	18,73	18,82	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	18,46	18,53	18,61	18,72	18,80	18,62
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	18,50	18,57	18,65	18,76	18,84	18,67
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Promedio de (P_MM)	psi	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
Volumen Indicado (IV_MM)	gal	252,12500	247,30270	250,20790	248,46970	251,32960	249,9
Δt	°C	14,52	14,59	14,67	14,78	14,8601	14,7
pt	kg/m3	998,504	998,490	998,474	998,453	998,438	998,472
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99949	0,99947	0,99946	0,99944	0,99942	0,99946
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00001	1,00001	1,00001	1,00001	1,00001	1,00001
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99946	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,99942
Volumen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	251,987680	247,164465	250,064204	248,321733	251,176034	249,742823
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	
Volumen Indicado (IV_IBC)	gal	253,02533	248,176	251,090	249,344	252,216	250,77
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	18,42	18,49	18,57	18,67	18,76	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	18,43	18,52	18,61	18,70	18,79	
Promedio de (T_IBC)	°C	18,43	18,51	18,59	18,69	18,78	18,60
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	18,47	18,55	18,64	18,73	18,82	18,64
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	
Promedio de (P_IBC)	psi	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
Δt	°C	14,49	14,57	14,65	14,75	14,84	14,7
pt	kg/m3	998,509	998,494	998,477	998,459	998,442	998,476
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99949	0,99948	0,99946	0,99944	0,99943	0,99946
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00005	1,00005	1,00005	1,00005	1,00004	1,00005
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99954	0,99952	0,99951	0,99949	0,99947	0,99950
Volumen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	252,908324	248,056962	250,965632	249,216603	252,082248	250,6460
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		0,99636	0,99640	0,99641	0,99641	0,99641	0,99640
% de Error		0,3654	0,3611	0,3605	0,3604	0,3608	0,3616
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN							
Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
gal/min	l/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
50,328	190,513	0,36	0,005	0,99640	5,00	2,01	0,025
Tiempo por corrida	min		5,00	4,90	4,96	4,92	4,99
Tiempo operación de valvulas	min		0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min		7,00	6,90	6,96	6,92	6,99
Tiempo total calibración manual			34,78	min			
Tiempo total calibración con PLC			5,5	min			
MF Manual		0,9964					
MF con PLC		0,9967					

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_CAL1

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 29/04/2025 11:18:47 a. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 0,9999
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-01	FABRICANTE: Micro Motion	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300M	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 50,30	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,16
PRES_psi	7	7	7	7	7	7,0
CTLmm	0,99916	0,99916	0,99916	0,99916	0,99916	0,99916
CPLmm	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002
PULSOSmm	75520	75476	75520	75521	75466	75500,6
GSVmm	50,30	50,27	50,30	50,30	50,26	50,29

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,13
PRES_psi	14	14	14	14	14	13,5
CTLm	0,99916	0,99916	0,99916	0,99916	0,99916	0,99916
CPLm	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
PULSOSm	75761	75715	75762	75758	75706	75740,4
ISVm	50,47	50,44	50,47	50,47	50,43	50,45
IMF	0,99669	0,99672	0,99668	0,99675	0,99670	0,99671

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 0,9967	% ERROR: 0,330	% REPETIBILIDAD: 0,007
----------------------------	----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS							
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
Caudal (Q_MM) Inicio	gal/min	80,28900	80,05100	80,08900	80,06600	80,07800	
Caudal (Q_MM) Final		80,32900	80,16900	80,13200	80,16300	80,09900	
Promedio del Caudal (Q_MM)		80,3	80,1	80,1	80,1	80,1	80,1
Temperatura del Medidor Maestro(T_MM) Inicio	°C	20,69	20,88	21,08	21,25	21,64	
Temperatura del Medidor Maestro(T_MM) Final	°C	20,77	20,95	21,14	21,33	21,70	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	20,73	20,92	21,11	21,29	21,67	21,14
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	20,77	20,95	21,15	21,33	21,71	21,18
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
Promedio de (P_MM)	psi	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Volúmen Indicado (IV_MM)	gal	403,30290	402,32180	401,54260	402,78500	401,88850	402,4
Δt	°C	16,79	16,97	17,17	17,35	17,7257	17,2
ρt	kg/m3	998,044	998,004	997,962	997,922	997,838	997,954
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99903	0,99899	0,99894	0,99891	0,99882	0,99894
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99912	0,9991	0,9990	0,9990	0,9989	0,99903
Volúmen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	403,149010	401,952909	401,157399	402,382706	401,453174	402,019040
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	
Volúmen Indicado (IV_IBC)	gal	404,81473	403,644	402,853	404,112	403,182	403,72
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	20,65	20,83	21,04	21,20	21,59	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	20,72	20,91	21,11	21,29	21,67	
Promedio de (T_IBC)	°C	20,69	20,87	21,08	21,25	21,63	21,10
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	20,73	20,92	21,12	21,29	21,68	21,15
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	
Promedio de (P_IBC)	psi	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Δt	°C	16,75	16,94	17,14	17,31	17,70	17,2
ρt	kg/m3	998,052	998,012	997,967	997,930	997,845	997,961
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99903	0,99899	0,99895	0,99891	0,99883	0,99894
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99911	0,99907	0,99902	0,99899	0,99890	0,99902
Volúmen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	404,453301	403,267983	402,459398	403,702056	402,738826	403,3243
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		0,99678	0,99674	0,99676	0,99673	0,99681	0,99676
% de Error		0,3235	0,3272	0,3246	0,3279	0,3202	0,3247
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN							
Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
gal/min	L/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
80,147	303,388	0,32	0,008	0,99676	5,00	2,01	0,026

Tiempo por corrida	min	5,02	5,02	5,01	5,02	5,02
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min	7,02	7,02	7,01	7,02	7,02
Tiempo total calibración manual		35,09	min			
Tiempo total calibración con PLC		5,5	min			
MF Manual		0,9968				
MF con PLC		0,9965				

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_CAL1

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 29/04/2025 12:29:48 p. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 0,9999
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-01	FABRICANTE: Micro Motion	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300M	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 79,33	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,79
PRES_psi	10	10	10	10	10	10,0
CTLmm	0,99880	0,99880	0,99880	0,99880	0,99880	0,99880
CPLmm	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
PULSOSmm	119074	119037	119112	119075	119082	119076
GSVmm	79,28	79,26	79,31	79,28	79,29	79,28

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	21,3	21,8	21,8	21,8	21,8	21,67
PRES_psi	23	23	23	23	23	23,0
CTLm	0,99890	0,99881	0,99881	0,99881	0,99881	0,99883
CPLm	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007
PULSOSm	119484	119447	119518	119468	119483	119480
ISVm	79,57	79,54	79,59	79,56	79,57	79,57
IMF	0,99633	0,99642	0,99645	0,99656	0,99649	0,99645

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 0,9965	% ERROR: 0,356	% REPETIBILIDAD: 0,024
----------------------------	----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS							
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					
		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)							
Caudal (Q_MM) Inicio		120,79000	120,76000	120,74000	120,10000	120,96000	
Caudal (Q_MM) Final	gal/min	120,91000	120,98000	121,04000	120,32000	120,97000	
Promedio del Caudal (Q_MM)		120,9	120,9	120,9	120,2	121,0	120,8
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C	22,85	23,29	23,60	23,93	24,27	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C	23,01	23,45	23,76	24,08	24,40	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	22,93	23,37	23,68	24,01	24,34	23,66
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	22,96	23,40	23,71	24,04	24,37	23,70
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
Promedio de (P_MM)	psi	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Volumen Indicado (IV_MM)	gal	607,15700	605,19280	599,86810	607,03100	603,66370	604,6
Δt	°C	18,98	19,42	19,73	20,06	20,3848	19,7
pt	kg/m3	997,548	997,443	997,368	997,288	997,206	997,371
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99853	0,99843	0,99835	0,99827	0,99819	0,99835
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99879	0,9987	0,9986	0,9985	0,9985	0,99862
Volumen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	606,424389	604,398977	599,036181	606,140716	602,728823	603,745817
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA							
Volumen Indicado (IV_IBC)	gal	609,30969	607,367	601,941	609,095	605,790	606,69
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	22,80	23,24	23,55	23,90	24,20	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	22,96	23,40	23,72	24,05	24,35	
Promedio de (T_IBC)	°C	22,88	23,32	23,64	23,98	24,28	23,62
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	22,93	23,37	23,68	24,02	24,32	23,66
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	
Promedio de (P_IBC)	psi	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8
Δt	°C	18,94	19,38	19,70	20,04	20,34	19,7
pt	kg/m3	997,557	997,452	997,376	997,293	997,218	997,379
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99854	0,99843	0,99836	0,99828	0,99820	0,99836
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99864	0,99854	0,99846	0,99838	0,99830	0,99846
Volumen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	608,482404	606,478885	601,014698	608,106254	604,721328	605,7607
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		0,99662	0,99657	0,99671	0,99677	0,99671	0,99667
% de Error		0,3394	0,3441	0,3303	0,3243	0,3306	0,3337
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN							
Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
gal/min	L/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
120,757	457,115	0,33	0,020	0,99667	5,00	2,01	0,029

Tiempo por corrida	min	5,02	5,00	4,96	5,05	4,99
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min	7,02	7,00	6,96	7,05	6,99
Tiempo total calibración manual		35,02	min			
Tiempo total calibración con PLC		5,5	min			
MF Manual		0,9967				
MF con PLC		0,9968				

Caudal de Prueba	MF Manual	MF con PLC	Diferencia entre MF	Diferencia %
50,33	0,9964	0,9967	-0,0003	-0,03
80,15	0,9968	0,9965	0,0003	0,03
120,76	0,9967	0,9968	-0,0001	-0,01

Caudal de Prueba	Tiempo Manual	Tiempo con PLC	Diferencia de tiempo	Porcentaje de
50,33	34,78	5,5	29,28	84%
80,15	35,09	5,5	29,59	84%
120,76	35,02	5,5	29,52	84%

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET1_CAL1

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 29/04/2025 2:29:51 p. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045	FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER	METER FACTOR: 1,0002
SERIAL #: F2023116000	MODELO: PROMASS 84F40	K-FACTOR: 1500
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21	CERTIFICADO: CC-25-067-2	

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-01	FABRICANTE: Micro Motion	METER FACTOR: 1,0000
MODELO: CMF300M	TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3"	K-FACTOR: 1500
SERIAL #: 499202		

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 120,95	CORRIDAS: 5	% REP. MAX: 0,05
PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1	TIEMPO CORRIDA: 60	METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,59
PRES_psi	7	7	7	7	7	7,0
CTLmm	0,99813	0,99813	0,99813	0,99813	0,99813	0,99813
CPLmm	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002	1,00002
PULSOSmm	181570	181565	181562	181507	181492	181539,2
GSVmm	120,85	120,84	120,84	120,81	120,80	120,83

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,54
PRES_psi	33	33	33	33	33	33,0
CTLm	0,99815	0,99815	0,99815	0,99815	0,99815	0,99815
CPLm	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010
PULSOSm	182180	182182	182154	182112	182074	182140,4
ISVm	121,24	121,24	121,22	121,20	121,17	121,21
IMF	0,99676	0,99672	0,99686	0,99678	0,99691	0,99681

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 0,9968	% ERROR: 0,321	% REPETIBILIDAD: 0,014
----------------------------	----------------	------------------------

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS							
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND					
		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)							
Caudal (Q_MM) Inicio	gal/min	50,38360	50,04360	50,63840	50,43130	50,21100	
Caudal (Q_MM) Final		50,44710	50,23130	50,05910	50,65230	50,01260	
Promedio del Caudal (Q_MM)		50,5	50,1	50,3	50,5	50,1	50,3
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C	18,65	18,68	18,72	18,77	18,83	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C	18,60	18,70	18,73	18,79	18,86	
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	18,63	18,69	18,73	18,78	18,85	18,73
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	18,67	18,73	18,77	18,82	18,89	18,77
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
Promedio de (P_MM)	psi	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Volumen Indicado (IV_MM)	gal	253,87130	255,53410	255,41070	262,21100	255,82630	256,6
Δt	°C	14,69	14,75	14,79	14,84	14,9050	14,8
ρt	kg/m ³	998,472	998,459	998,452	998,442	998,429	998,451
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99946	0,99944	0,99944	0,99943	0,99941	0,99943
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003	1,00003
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99944	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,99942
Volumen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	253,728091	255,386751	255,261695	262,055233	255,671094	256,420573
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA							
Volumen Indicado (IV_IBC)	gal	254,01106	255,643	255,513	262,278	255,894	256,67
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	18,62	18,67	18,70	18,75	18,82	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	18,60	18,69	18,71	18,78	18,83	
Promedio de (T_IBC)	°C	18,61	18,68	18,71	18,77	18,83	18,72
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	18,66	18,73	18,75	18,81	18,87	18,76
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Promedio de (P_IBC)	psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2
Δt	°C	14,67	14,74	14,77	14,83	14,89	14,8
ρt	kg/m ³	998,474	998,460	998,455	998,444	998,432	998,453
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99946	0,99944	0,99944	0,99943	0,99942	0,99944
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99950	0,99949	0,99948	0,99947	0,99946	0,99948
Volumen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	253,883793	255,51188	255,380671	262,138374	255,755535	256,5341
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF							
		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		0,99939	0,99951	0,99953	0,99968	0,99967	0,99956
% de Error		0,0614	0,0490	0,0466	0,0317	0,0330	0,0443
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN							
Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
gal/min	L/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
50,331	190,524	0,04	0,030	0,99956	5,00	2,02	0,028
Tiempo por corrida	min	5,03	5,09	5,10	5,18	5,12	
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
Tiempo por corrida	min	7,03	7,09	7,10	7,18	7,12	
Tiempo total calibración manual		35,51	min				
Tiempo total calibración con PLC		5,5	min				
MF Manual	0,9996						
MF con PLC	0,9998						

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET2_MM_MM

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 16/04/2025 8:29:31 a. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045 FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER METER FACTOR: 0.9999
 SERIAL #: F2023116000 MODELO: PROMASS 84F40 K-FACTOR: 1500
 FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21 CERTIFICADO: CC-25-067-2

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-001 FABRICANTE: MICROMOTION METER FACTOR: 1.0000
 MODELO: CMF300 TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3" K-FACTOR: 1500
 SERIAL #: 499202

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 49.37 CORRIDAS: 5 % REP. MAX: 0.05
 PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1 TIEMPO CORRIDA: 60 METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.90
PRES_psi	8	8	8	8	8	8.0
CTLmm	0.99941	0.99941	0.99941	0.99941	0.99941	0.99941
CPLmm	1.00003	1.00003	1.00003	1.00003	1.00003	1.00003
PULSOSmm	74149	74136	74100	74078	74035	74099.6
GSVmm	49.40	49.39	49.37	49.35	49.32	49.37

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	18.9	18.9	18.9	18.9	18.9	18.90
PRES_psi	13	13	13	13	13	13.0
CTLm	0.99941	0.99941	0.99941	0.99941	0.99941	0.99941
CPLm	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004
PULSOSm	74160	74148	74098	74087	74030	74104.6
ISVm	49.41	49.40	49.37	49.36	49.33	49.38
IMF	0.99974	0.99972	0.99991	0.99976	0.99995	0.99982

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 0.9998 % ERROR: 0.018 % REPETIBILIDAD: 0.019

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS								
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	AS FOUND						
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios	
Caudal (Q_MM) Inicio	gal/min	79,30410	80,12740	80,59340	80,35480	80,40390		
Caudal (Q_MM) Final		79,14030	80,19870	80,34620	80,44470	80,46750		
Promedio del Caudal (Q_MM)		79,2	80,2	80,5	80,4	80,4	80,1	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio	°C	19,17	19,32	19,54	19,68	19,88		
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final	°C	19,28	19,40	19,60	19,77	19,92		
Promedio de temperatura (T_MM)	°C	19,23	19,36	19,57	19,73	19,90	19,56	
Promedio de (T_MM) Corregida	°C	19,27	19,40	19,61	19,77	19,94	19,60	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio	psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0		
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final	psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0		
Promedio de (P_MM)	psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Promedio de (P_MM) Corregida	psi	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	
Volúmen Indicado (IV_MM)	gal	409,77830	409,11110	407,64340	407,84310	405,03990	407,9	
Δt	°C	15,28	15,42	15,63	15,78	15,9587	15,6	
ρt	kg/m ³	998,354	998,327	998,285	998,254	998,218	998,288	
Factor de Corrección CTL_MM@60°F	-	0,99934	0,99931	0,99927	0,99924	0,99920	0,99927	
Factor de Corrección CPL_MM	-	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	
Factor de Corrección Combinado CCF_MM	-	0,99945	0,9994	0,9994	0,9993	0,9993	0,99938	
Volúmen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)	gal	409,552749	408,874893	407,390798	407,577520	404,761610	407,631514	
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5		
Volúmen Indicado (IV_IBC)	gal	409,76291	409,064	407,601	407,796	405,008	407,85	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio	°C	19,16	19,30	19,50	19,65	19,84		
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final	°C	19,25	19,36	19,57	19,74	19,89		
Promedio de (T_IBC)	°C	19,21	19,33	19,54	19,70	19,87	19,53	
Promedio de (T_IBC) Corregida	°C	19,25	19,38	19,58	19,74	19,91	19,57	
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio	psi	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0		
Presión del Medidor (P_IBC) Final	psi	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0		
Promedio de (P_IBC)	psi	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0		
Promedio de (P_IBC) Corregida	psi	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	
Δt	°C	15,27	15,39	15,60	15,76	15,93	15,6	
ρt	kg/m ³	998,357	998,332	998,291	998,259	998,224	998,293	
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F	-	0,99934	0,99932	0,99927	0,99924	0,99921	0,99928	
Factor de Corrección CPL_IBC	-	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	1,00007	
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC	-	0,99941	0,99939	0,99935	0,99931	0,99928	0,99935	
Volúmen Corregido del Medidor (ISV_IBC)	gal	409,522594	408,814264	407,334662	407,516354	404,71626	407,5808	
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF		Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios	
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)		1,00007	1,00015	1,00014	1,00015	1,00011	1,00012	
% de Error		-0,0074	-0,0148	-0,0138	-0,0150	-0,0112	-0,0124	
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN								
	Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
	gal/min	L/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
	80,138	303,356	-0,01	0,008	1,00012	5,00	2,01	0,026

Tiempo por corrida	min	5,18	5,10	5,07	5,07	5,03
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min	7,18	7,10	7,07	7,07	7,03
Tiempo total calibración manual		35,46	min			
Tiempo total calibración con PLC		5,5	min			
MF Manual		1,0001				
MF con PLC		1,0004				

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET2_MM_MM

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 16/04/2025 9:14:46 a. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045 FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER METER FACTOR: 1.0001
 SERIAL #: F2023116000 MODELO: PROMASS 84F40 K-FACTOR: 1500
 FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21 CERTIFICADO: CC-25-067-2

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-001 FABRICANTE: MICROMOTION METER FACTOR: 1.0000
 MODELO: CMF300 TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3" K-FACTOR: 1500
 SERIAL #: 499202

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 80.27 CORRIDAS: 5 % REP. MAX: 0.05
 PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1 TIEMPO CORRIDA: 60 METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.00
PRES_psi	13	13	13	13	13	13.0
CTLmm	0.99919	0.99919	0.99919	0.99919	0.99919	0.99919
CPLmm	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004
PULSOSmm	120528	120502	120516	120471	120427	120488.8
GSVmm	80.30	80.28	80.29	80.26	80.23	80.27

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.00
PRES_psi	23	23	23	23	23	23.0
CTLm	0.99919	0.99919	0.99919	0.99919	0.99919	0.99919
CPLm	1.00007	1.00007	1.00007	1.00007	1.00007	1.00007
PULSOSm	120474	120467	120465	120436	120382	120444.8
ISVm	80.26	80.25	80.25	80.23	80.20	80.24
IMF	1.00052	1.00036	1.00049	1.00036	1.00044	1.00043

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 1.0004 % ERROR: -0.043 % REPETIBILIDAD: 0.016

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR

CORRIDAS								
DESCRIPCIÓN		UNIDADES	AS FOUND					
DATOS DEL MEDIDOR MAESTRO (MASTER METER)			Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
Caudal (Q_MM) Inicio			119,78140	119,29260	119,63840	120,63020	120,39700	
Caudal (Q_MM) Final		gal/min	120,52330	119,56890	119,28960	119,66270	120,94870	
Promedio del Caudal (Q_MM)			120,2	119,4	119,5	120,1	120,7	120,0
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Inicio		°C	20,67	21,02	21,29	21,58	21,85	
Temperatura del Medidor Maestro (T_MM) Final		°C	20,82	21,17	21,44	21,62	21,98	
Promedio de temperatura (T_MM)		°C	20,75	21,10	21,37	21,60	21,92	21,34
Promedio de (T_MM) Corregida		°C	20,78	21,13	21,40	21,64	21,95	21,38
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Inicio		psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Presión del Medidor Maestro (P_MM) Final		psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
Promedio de (P_MM)		psi	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
Promedio de (P_MM) Corregida		psi	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4
Volumen Indicado (IV_MM)		gal	629,56300	611,50480	621,27710	612,62900	601,37450	615,3
Δt		°C	16,80	17,15	17,42	17,66	17,9702	17,4
ρt		kg/m3	998,041	997,965	997,906	997,854	997,783	997,909
Factor de Corrección CTL_MM@60°F		-	0,99902	0,99895	0,99889	0,99884	0,99877	0,99889
Factor de Corrección CPL_MM		-	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004	1,00004
Factor de Corrección Combinado CCF_MM		-	0,99931	0,9992	0,9992	0,9991	0,9991	0,99918
Volumen Corregido del Medidor Maestro (GSV_MM)		gal	629,527348	611,035563	620,763507	612,090555	600,803315	614,844058
DATOS DEL MEDIDOR EN PRUEBA			Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
Volumen Indicado (IV_IBC)		gal	629,89294	611,380	621,088	612,450	601,184	615,20
Temperatura del Medidor (T_IBC) Inicio		°C	20,62	20,97	21,23	21,54	21,80	
Temperatura del Medidor (T_IBC) Final		°C	20,77	21,11	21,39	21,59	21,92	
Promedio de (T_IBC)		°C	20,70	21,04	21,31	21,57	21,86	21,29
Promedio de (T_IBC) Corregida		°C	20,74	21,09	21,36	21,61	21,91	21,34
Presión del Medidor (P_IBC) Inicio		psi	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	
Presión del Medidor (P_IBC) Final		psi	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	
Promedio de (P_IBC)		psi	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	
Promedio de (P_IBC) Corregida		psi	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8
Δt		°C	16,76	17,11	17,38	17,63	17,93	17,4
ρt		kg/m3	998,050	997,975	997,916	997,859	997,793	997,918
Factor de Corrección CTL_IBC@60°F		-	0,99903	0,99896	0,99890	0,99884	0,99878	0,99890
Factor de Corrección CPL_IBC		-	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010	1,00010
Factor de Corrección Combinado CCF_IBC		-	0,99913	0,99906	0,99900	0,99894	0,99888	0,99900
Volumen Corregido del Medidor (ISV_IBC)		gal	629,346684	610,8045	620,46562	611,80202	600,507491	614,5853
CÁLCULO FACTOR DE MEDIDOR - MF			Pasada 1	Pasada 2	Pasada 3	Pasada 4	Pasada 5	Promedios
IMF (Intermedio Meter Factor = GSV_MM / ISV_IBC)			1,00029	1,00038	1,00048	1,00047	1,00049	1,00042
% de Error			-0,0287	-0,0378	-0,0480	-0,0471	-0,0492	-0,0422
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN								
	Caudal en unidades cliente	Caudal unidades S.I.	Error del caudal	Repetibilidad	Meter Factor	Corridas	Factor de Cobertura	U ₉₅
	gal/min	L/min	% del caudal	% MF		(n)	k	%
	119,973	454,148	-0,04	0,021	1,00042	5,00	2,01	0,028

Tiempo por corrida	min	5,23	5,11	5,21	5,12	4,97
Tiempo operación de valvulas	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tiempo toma de datos	min	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo por corrida	min	7,23	7,11	7,21	7,12	6,97
Tiempo total calibración manual		35,64	min			
Tiempo total calibración con PLC		5,5	min			
MF Manual		1,0004				
MF con PLC		1,0006				

Caudal de Prueba	MF Manual	MF con PLC	Diferencia entre MF	Diferencia %
50,33	0,9996	0,9998	-0,0002	-0,02
80,14	1,0001	1,0004	-0,0003	-0,03
119,97	1,0004	1,0006	-0,0002	-0,02

Caudal de Prueba Gal/min	Tiempo Manual min	Tiempo con PLC min	Diferencia de tiempo entre metodos / min	Porcentaje de optimización de tiempo
50,33	35,51	5,5	30,01	85%
80,14	35,46	5,5	29,96	84%
119,97	35,64	5,5	30,14	85%

TIQUETE DE CALIBRACIÓN

REPORTE #: R&R_MET2_MM_MM

FECHA Y HORA DE CALIBRACIÓN: 16/04/2025 10:05:32 a. m.

IDENTIFICACIÓN MASTER METER

MM_TAG: MTR-EQ-045 FABRICANTE: ENDRESS + HAUSER METER FACTOR: 1.0002
 SERIAL #: F2023116000 MODELO: PROMASS 84F40 K-FACTOR: 1500
 FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-03-21 CERTIFICADO: CC-25-067-2

IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

IBP_TAG: MTR-EQ-001 FABRICANTE: MICROMOTION METER FACTOR: 1.0000
 MODELO: CMF300 TAMAÑO DEL MEDIDOR: 3" K-FACTOR: 1500
 SERIAL #: 499202

CONDICIONES DE PROCESO

CAUDAL (gal/min): 120.60 CORRIDAS: 5 % REP. MAX: 0.05
 PRODUCTO: AGUA_API MPMS 11.4.1 TIEMPO CORRIDA: 60 METODO: Average MF

PASADAS MASTER METER

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	22.1	22.2	22.2	22.3	22.3	22.21
PRES_psi	13	13	13	13	13	13.0
CTLmm	0.99873	0.99872	0.99871	0.99869	0.99869	0.99871
CPLmm	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004	1.00004
PULSOSmm	181046	181073	181067	180909	180994	181017.8
GSVmm	120.57	120.59	120.58	120.48	120.53	120.55

PASADAS EQUIPO BAJO PRUEBA

#_CORRIDA:	1	2	3	4	5	PROMEDIO
TEMP_°C	22.1	22.1	22.2	22.2	22.3	22.18
PRES_psi	32	32	32	32	32	32.0
CTLm	0.99873	0.99873	0.99871	0.99871	0.99869	0.99871
CPLm	1.00010	1.00010	1.00010	1.00010	1.00010	1.00010
PULSOSm	180945	180997	180958	180836	180907	180928.6
ISVm	120.49	120.52	120.50	120.41	120.46	120.48
IMF	1.00070	1.00055	1.00074	1.00053	1.00062	1.00063

RESUMEN DE RESULTADOS

METER FACTOR FINAL: 1.0006 % ERROR: -0.063 % REPETIBILIDAD: 0.021

FIRMAS

OPERADOR

INSPECTOR