

UNIVERSIDAD DE LA HABANA

Cátedra de Calidad, Metrología y Normalización

Alcance y sistema de medición de una instalación para la calibración de flujómetros

Tesis presentada en opción al Título de
Máster en Metrología

Autora: Ing. Regla Caridad Inchaurtieta Ramos

Tutor: Dr. José Ignacio Franco Fernández

Marzo, 2019

AGRADECIMIENTOS

A todos mis profesores, que de una manera u otra contribuyeron a mi formación.

A mi tutor, Dr. José Ignacio Franco Fernández, el cual contribuyó a la realización de este sueño.

A la Dra. Rosa Mayelín Guerra Bretaña, por su preocupación constante para hacer posible la terminación de esta tesis.

A mis compañeros de trabajo, Sandra Claudina Pedro Valdés,

Nelson Julián Villalobos Hevia, Mirtha Navarro González,

Maritza Hernández Apacire, Eduardo Pérez González, Luis

González Denis, Yan Carlos Leyva Labrador, Fran Javier

Buzón González, Redés Yanet Valdivia Medina, por su

colaboración.

A mis familiares, por su estímulo constante.

RESUMEN

Este trabajo nos permitió identificar la cantidad de flujómetros existentes en el país y sus características metrológicas, que sirvió de base para realizar la investigación referida al alcance y métodos de medición de una instalación de calibración de flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo. El estudio contribuyó al levantamiento de necesidades metrológicas de la inversión de este tipo de instalación, así como diseñarla partiendo de la oferta del proveedor.

Como resultado del trabajo se elaboró la tarea técnica de la instalación para la calibración de los flujómetros en el país, utilizando agua como líquido de trabajo, la propuesta de proyección de trazabilidad metrológica para el Laboratorio de Volumen del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET).

La investigación se realizó en el INIMET y la validación del diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros se realizó en el Laboratorio de Volumen de este Instituto. En las recomendaciones se plantea la generalización del conocimiento a todos los integrantes del laboratorio y al resto de los laboratorios del Servicio Nacional de Metrología (SENAMET).

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1 INSTALACIÓN PARA LA CALIBRACIÓN DE FLUJÓMETROS	5
1.1 Óptica Mundial de las mediciones de Volumen y Flujo	5
1.2 Líquidos comercializados en unidades de masa (kilogramos) a nivel mundial	7
1.3 Métodos de medición	10
1.4 Algunas instalaciones de calibración de INM del mundo	12
1.5 Algunos fabricantes de flujómetros del mundo que cuentan con instalaciones de calibración acreditadas y con alta exactitud	15
1.6 Condiciones necesarias para las Calibraciones de Fluómetros	20
1.7 Aprobación de modelos de Fluómetros	22
1.8 Mejores capacidades de medición de flujo de agua	23
1.9 Situación actual del agua a nivel mundial y en Cuba	24
1.10 Costos de la calibración de flujómetros	25
1.11 Documentos normativos utilizados en la calibración de flujómetros de agua y de líquidos diferentes de agua y combustible	26
1.12 Reconocimiento por la ISO 17025 de las Organización Regional Internacional	27
1.13 Conclusiones parciales del capítulo	29
CAPITULO 2. DIAGNÓSTICO PARA LA FUNDAMENTACIÓN DE LA INSTALACION PARA LA CALIBRACIÓN DE FLUJÓMETROS	30
2.1 Caracterización del Instituto	30
2.2 Métodos utilizados para el diagnóstico de una instalación para la calibración de los flujómetros en el INIMET	33
2.2.1 Etapas de investigación	35
2.3 Diagnóstico sobre la instalación para la calibración de los flujómetros en el país	36
2.3.1 Comportamiento del diagnóstico sobre la instalación para calibración de los flujómetros en el país	38
2.3.1.1 Aplicación de la entrevista al personal seleccionado	38
2.3.1.2 Levantamiento metrológico de los flujómetros existentes en el país	39
2.3.2 Formación de los recursos humanos en el tema	47
2.3.3 Fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora	50
2.4 Conclusiones parciales del capítulo	52

CAPITULO 3. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS FLUJÓMETROS EN EL INIMET	53
3.1 Diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros en el Laboratorio de Volumen	53
3.2 Diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros ofertada por el proveedor	60
3.3 Resultados de la validación del diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros	67
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	83
ANEXOS	84

INTRODUCCIÓN

Los Institutos Nacionales de Metrología (INM) de Alemania, Estados Unidos, México, Japón, entre otros cuentan con instalaciones para las mediciones de flujo, certificadas y con altas tecnologías incorporadas, a través de las cuales se garantiza la trazabilidad metrológica de los flujómetros que intervienen en transacciones comerciales. Cuba no cuenta con la infraestructura hoy para dar trazabilidad metrológica a los flujómetros que existen en el país, por no contar con una instalación de calibración de este tipo. En el país en la industria existen estos equipos como sistema de medición para la comercialización nacional e internacional, que respalda la exportación o importación de productos tales como: alcohol, lácteos, ron es, entre otros.

El Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET), INM de la República de Cuba, tiene como misión desarrollar y crear los patrones en la magnitud de flujo. Partiendo de esta consideración se trazó el objetivo de poder diseñar, construir y certificar una instalación para la calibración de flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo, teniendo como principal pilar recopilar datos e información que permita elaborar la tarea técnica, que describe desde el punto de vista técnico y metrológico todos los elementos principales de este sistema de medición, los requisitos de estos instrumentos de medición patrones y auxiliares, además de las especificaciones técnicas del equipamiento principal de dicha instalación. Lograr este objetivo es de gran importancia para la economía nacional y nos permitiría contar en mediciones de flujo con el laboratorio de más exactitud del país.

Los flujómetros son los instrumentos de medición que garantizan una parte primordial de las transacciones fiscales de líquidos, así como los aforos volumétricos de considerables tanques de almacenamiento de diferentes productos, que son usados en la economía. La calibración y verificación de los mismos son la base esencial del control metrológico.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo garantizar en Cuba la trazabilidad metrológica de los flujómetros?

OBJETIVO GENERAL

Fundamentar una instalación para la calibración de flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar estado del arte en el mundo de las instalaciones de calibración de flujómetros.
- Diagnosticar la fundamentación del alcance de la instalación de calibración.
- Diseñar la instalación para la calibración de los flujómetros en el INIMET.

IMPACTO CIENTÍFICO

- El impacto económico que significa el disponer de un sistema metrológico primario de mediciones de flujo puede apreciarse si se toma en consideración que estas mediciones son de vital importancia para industrias tales como: las industrias de: generación de energía eléctrica, farmacéutica, siderúrgica, metalúrgica, entre otras.
- El interés de la industria nacional por disponer de sistemas de medición de flujo que puedan ser referidos a un sistema primario nacional (de cualidades metrológicas excepcionales) se traduce en minimización de costos de fabricación, aumento en la calidad de los productos manufacturados, mejor control en los procesos de transferencia de fluidos, valoración objetiva de la contaminación al medio ambiente.
- Disponer de una instalación de calibración primaria permite realizar aprobaciones de modelos, desarrollar la investigación dirigida a perfeccionar los métodos de medición, disminuir la incertidumbre de las mediciones, garantizar la participación en intercomparaciones que validen la competencia y la trazabilidad internacional.

IMPACTO SOCIAL

Nuestro país cuenta con limitados recursos hídricos que no sería provechoso malgastar. Estos recursos hídricos son utilizados y requieren ser medidos por varias industrias y empresas:

- Las empresas distribuidoras de agua a la población que necesitan medir el volumen de agua entregado.
- La industria sidero-mecánica porque necesita emplear y por lo tanto medir grandes volúmenes de agua para los sistemas de enfriamiento y de fabricación.
- El sector de la agricultura porque necesita emplear agua en los sistemas de riego.
- También podrían ser clientes de la instalación las empresas que usen flujómetros cuyo líquido de trabajo sea distinto de combustible y puedan ser calibrados con agua. Estos son flujómetros de alcohol, leche, bebidas alcohólicas, bebidas no alcohólicas, jugos u otros líquidos potables. Los flujómetros de agua destilada, desionizada, desmineralizada y otras. De tal manera pueden ser clientes de la instalación la Industria Alimentaria (GEIA) y la Empresa Comercializadoras y Distribuidoras de Medicamentos
- Las mediciones de volumen y flujo tienen gran incidencia en las transacciones comerciales.
- Los flujómetros son los instrumentos a través de los cuales se garantizan un porcentaje importante de las transacciones fiscales de líquidos y los aforos volumétricos de una parte considerable de los tanques de almacenamiento usados en la economía nacional y por eso la calibración y verificación de los mismos son la piedra angular del control estatal sobre la exactitud de las mediciones.

- Los medidores electrónicos de flujo, como los magnéticos, los ultrasónicos y los Coriolis, se calibran con costos en un rango de \$5,000 a 75,000 USD en instalaciones como Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) y Endress+Hauser Flowtec en Reinach, Suiza. Tener nuestra propia instalación nos ahorraría estos miles de pesos más el costo de la transportación del equipo a cualquiera de estas instalaciones. Además, permitiría también brindar servicio de calibración a terceros en el área del Caribe y Centroamérica.

CAPITULO 1. INSTALACIONES PARA LA CALIBRACIÓN DE FLUJÓMETROS

Este capítulo contiene la revisión de la bibliografía respecto a las instalaciones para la calibración de flujómetros usando agua como líquido de trabajo tanto de los INM, como de diferentes fabricantes de flujómetros del mundo, los métodos de medición y las condiciones necesarias para llevar a cabo las calibraciones. Además, se expresa la necesidad de verificar aquellos flujómetros que forman parte del control metrológico y cuyos modelos deben ser aprobados, dándose una breve explicación de las mejores capacidades de medición de flujo de agua del mundo hasta llegar a la situación actual en Cuba.

1.1 Óptica Mundial de las mediciones de Volumen y Flujo

La medición del flujo forma parte de todos los aspectos de la vida moderna, desde la medición del flujo de agua en centrales eléctricas y electronucleares hasta la medición de agua para uso doméstico. Llevar a cabo una medición precisa es importante en ambos ejemplos, así como en otros contextos. La planta de energía debe medir fielmente por seguridad, eficiencia e ingresos. Con los suministros de agua afectados por el clima global, la medición del agua es parte integrante de los planes de conservación. La medición exacta del flujo así como de las cantidades de fluido tiene un impacto positivo en la conservación de la energía. Uno de los problemas más costosos en el control ambiental es el manejo y tratamiento de la distribución de agua potable. También el tratamiento de aguas residuales, para lo cual Cuba ya ha construido dos plantas de tratamiento y está en fase de culminación de una tercera las cuales reducen la carga contaminante de los ríos y arroyos que desembocan en la Bahía de La Habana. (1)

Habitualmente la medición de volumen y flujo en función del sistema de medición establecido puede ser volumétrico o másico, el flujo volumétrico es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado. Usualmente es representado con la letra Q mayúscula. Mientras que el flujo másico no es más que

la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica. En el Sistema internacional de Unidades (SI) se mide en kilogramos por segundo.

El agua es un recurso fundamental para el sostenimiento de la vida en el planeta que, además, satisface las principales necesidades humanas en las actividades de tipo doméstico, agrícola e industrial. Ha sido un elemento básico para el desarrollo de la humanidad a través del tiempo, convirtiéndose en uno de los recursos que mayor presión enfrenta en la actualidad debido al desmesurado crecimiento poblacional. Lo anterior ha obligado al diseño e implementación de políticas y estrategias que permitan realizar una adecuada gestión del recurso hídrico a nivel mundial, regional y local, como respuesta a la denominada crisis del agua. (2)

En los últimos años, se han iniciado procesos que tienen como objetivo promover la gestión del recurso hídrico, basada en un uso sostenible, una mejor calidad del servicio y un menor impacto en el medio ambiente, pero esto solo es posible a partir del conocimiento de los caudales y volúmenes de agua circulantes y consumidos en cada componente de un sistema de abastecimiento. La medición con determinada exactitud es la única herramienta que permite determinar la cantidad de agua disponible y plantear estrategias de mejoramiento a través de la implementación de indicadores de gestión. Es aquí donde juegan un papel importante los flujómetros.

Un flujómetro no es más que un instrumento para la medición de flujo o cantidades de fluido ya sea volumétrico o másico. Estos instrumentos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido.

Muchas personas piensan que un objeto de gran masa debe tener un gran volumen. La masa es la cantidad de materia que contiene un cuerpo. Todo cuerpo tiene masa. A mayor cantidad de materia, mayor cantidad de masa. La cantidad de masa de un objeto sólido, líquido o gaseoso se determina con las balanzas. La unidad para medir la masa establecida por el SI, organización que determina las medidas y unidades

estándar, es el kilogramo (kg). La materia ocupa un lugar en el espacio, el cual se mide en tres dimensiones. Este espacio tridimensional ocupado por una cantidad de materia se conoce como volumen. La unidad del Sistema Internacional de Unidades para medir el volumen es el metro cúbico (m^3). Existe una relación entre la masa y el volumen de los cuerpos, la cual se denomina densidad. La densidad es una propiedad que caracteriza a las sustancias puras. Para obtenerla se debe dividir la cantidad de masa entre volumen. La densidad es la medida de la materia que hay en un volumen dado y se representa con la letra griega (ρ); su unidad en el SI es el kg/m^3 . (3)

En el mundo hay líquidos que se comercializan en unidades de masa, algunos de ellos son detergentes, aceite, hidrocarburos derivados del petróleo como el GLP (gas licuado de petróleo), abonos entre otros.

1.2 Líquidos comercializados en unidades de masa (kilogramos) a nivel mundial

Cloro líquido (4)

Descripción comercial Cloro líquido.

Descripción química Hipoclorito de sodio.

Descripción producto Solución acuosa clara, sin sedimentos, de un color amarillo verdoso ligero.

Medida A granel y en envases de PVC de galón, 5 galones y cilindros de 240 kg.

País de origen Perú.

Aplicaciones

Tratamiento de aguas.

Desinfección, esterilización, detoxificación, decoloración y deodorización de aguas industriales, potables y de piscinas.

Blanqueadores.

En proceso de lavado (celulosa, pulpa de papel y textiles).

Química.

Obtención de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, bióxido de manganeso, de nitratos, sulfatos y cianatos (por reacción con los cianuros).

Cloruro de Metileno (5)

Descripción comercial Cloruro de Metileno.

Descripción química Cloruro de Metileno.

Descripción producto El cloruro de metileno es un líquido pesado, incoloro, de bajo punto de ebullición y olor etéreo característico. Posee baja viscosidad y gran estabilidad; es miscible en todas proporciones con alcohol, éter y cloroformo. Es ligeramente soluble en agua, es prácticamente no inflamable y no explosivo.

Medida tambor o barril 270 kg.

País de origen México.

Aplicaciones

En formulaciones de removedores de pinturas, fumigantes, aerosoles, desmanchadores, desengrasantes. Como anestésico dental (local). Como un refrigerante en máquinas de hielo de baja presión y en equipos de aire acondicionado.

En la extracción de aceites, grasas, perfumes, esencias y drogas Como solvente para acetatos de celulosa, alcaloides, asfalto, hule crudo y ceras. En compuestos extinguidores de fuego.

Puede ser utilizado como solvente en recubrimientos textiles y de pieles (cueros) donde su bajo punto de ebullición y su rápida evaporación lo hacen especialmente apropiado.

Es particularmente apropiado para la extracción a bajas temperaturas de materiales tales como aceites esenciales y grasas comestibles.

Ácido Nítrico (6)

Descripción comercial Ácido Nítrico.

Descripción química Ácido Nítrico.

Descripción producto El ácido nítrico es un líquido cuyo color varía de incoloro a amarillo pálido, de olor sofocante. Es soluble en agua, generándose calor. No es combustible, pero puede acelerar el quemado de materiales combustibles y causar ignición. Es corrosivo de metales y tejidos. Si además, contiene NO_2 disuelto, entonces se conoce como ácido nítrico fumante y su color es café-rojizo.

Medida Canecas de 35 kg netos.

País de origen Ecuador.

Aplicaciones

Se utiliza:

- en la síntesis de otros productos químicos como colorantes, fertilizantes, fibras, plásticos y explosivos, entre otros.
- como parte integral de la fabricación de explosivos. El ácido nítrico se puede utilizar para la fabricación de componentes de trinitrotolueno (TNT) y también del explosivo plástico 'Semtex'.
- como fertilizante agrícola. Promueve el crecimiento vigoroso de las plantas.
- como un agente oxidante en la producción de algunos combustibles sólidos para la propulsión de cohetes.
- como un agente de envejecimiento en carpintería, donde se puede utilizar en formas muy diluidas (típicamente por debajo del 10%) para cambiar el aspecto de algunas maderas y para producir un color similar al de las superficies aceitadas o envejecidas.
- en la joyería se puede utilizar ácido nítrico para identificar aleaciones de bajo grado y evaluar la pureza del contenido de oro.
- en una solución con alcohol y agua para grabar los metales mediante la eliminación de algunas superficies.

El ácido nítrico se utiliza comúnmente en los sectores de procesamiento de alimentos y productos lácteos para eliminar el calcio y el magnesio depositado

durante los procesos de fabricación o de conversión o que puedan derivarse de la exposición continua al agua dura.

1.3 Métodos de medición

Los flujómetros pueden ser calibrados a través de varios métodos, es decir, el de pesaje que es el método gravimétrico, el volumétrico y el de master meter. El método de pesaje es conocido como método primario. En este método, el flujo debe expresarse en unidades fundamentales de masa y tiempo. El método gravimétrico consiste en la determinación del volumen del líquido a partir de la determinación de la masa de ese líquido considerando su densidad y realizando las correcciones correspondientes.

El método volumétrico, consiste en la determinación del volumen por comparación con instrumentos patrones, el agua que fluye en el medidor bajo prueba se recoge en un recipiente volumétrico por un tiempo predeterminado y su volumen se mide, directamente. El recipiente patrón será un recipiente con parte final cónica para facilitar el drenaje y reducir el riesgo de aire atrapado. El cuello del recipiente tiene instalado normalmente un vidrio transparente y una escala marcada en unidades volumétricas. Un típico tanque volumétrico se muestra abajo. (Fig.1.1) (7)

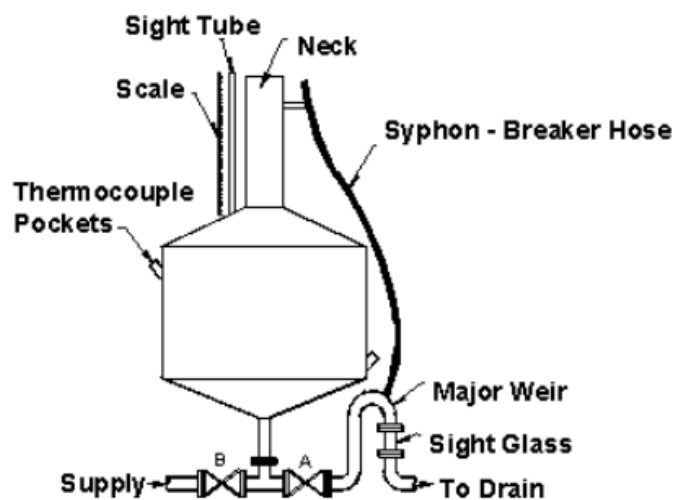


Fig. 1.1 Recipiente patrón

Otro método de calibración que puede ser usado también es el de medidor maestro o master meter.

El método del medidor maestro es una forma eficiente de calibrar medidores de flujo con menos tiempo y costos. Un medidor maestro es un flujómetro calibrado que se utiliza como un estándar de calibración. El medidor maestro se coloca en serie con el flujómetro bajo prueba, y los resultados se comparan a diferentes flujos.

Estos métodos de medición diferencian a las instalaciones de calibración de flujómetros que existen en el mundo. Estos medidores que se utilizan pueden ser de varios tipos: flujómetros patrones, medidores de pistón (piston provers, medidores de bola Ball provers), medidores de columna de líquido con distanciómetros láser para el control de nivel de la columna de líquido, entre otros.

Hay una serie de instalaciones de calibración de flujo de alta reputación y bien conocido en todo el mundo. Con el mercado mundial de flujómetros creciendo cada año, se puede esperar que crezca la necesidad y demanda de servicios de recalibración. Cada vez que se vende un flujómetro, es muy probable que tenga que ser recalibrado en algún momento en los próximos tres a siete años. Además, hay una base instalada muy grande de flujómetros en el campo que necesitan ser recalibrados periódicamente. Hay más de 100 instalaciones independientes de calibración de flujómetros ubicadas en todo el mundo. Muchas de estas empresas principalmente dan servicios dentro de su región geográfica. Sin embargo, hay una serie de grandes instalaciones de calibración que prestan servicios a empresas de flujómetros de múltiples regiones.

Las instalaciones de calibración de flujo de agua son ampliamente utilizadas para la calibración de flujómetros de agua en todo el mundo. También se utilizan para la calibración inicial de flujómetros que posteriormente se usan en otros líquidos, se utilizan además para calibración de flujómetros patrones, para aprobación de modelos. Las últimas dos décadas han sido testigos de las constantes

contribuciones en el desarrollo de instrumentación y técnicas con especial énfasis en reducir los errores de medición y mejorar la incertidumbre de medición de flujo.

1.4 Algunas instalaciones de calibración de INM del mundo

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania

En el PTB de Alemania, ubicado en Braunschweig, existe una instalación de prueba de flujo de agua. Esta plataforma de ensayo desde su concepción tuvo como objetivo desarrollar el patrón primario en el campo de las mediciones del flujo líquido. Desde entonces, para las instalaciones de prueba en estos laboratorios se exige, que las incertidumbres de medición estén en el rango de 0,1 % o incluso del 0,05 %, o sea, el objetivo del patrón primario es lograr una incertidumbre expandida de 0,02 % para $k=2$ y un 95 % de nivel de confianza. La instalación de calibración de flujo es de alta precisión con Normas de referencia gravimétrica y volumétrica.

(8)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) Estados Unidos (EU)

Laboratorios de Medición de Flujo de Agua en el NIST de EU utilizan los servicios de calibración ofrecidos por el Grupo de Metrología de Fluidos del NIST usando su facilidad de calibración.

La instalación está diseñada para calibrar medidores de flujo de 25 mm a 400 mm de diámetro, a flujos de 8 L/min a 38.000 L/min. Incorpora un diseño de válvula desviadora, que minimiza la incertidumbre asociada con los diseños de válvulas desviadoras convencionales.

NIST proporciona servicios de calibración para medidores de flujo de líquidos. Hay cuatro estándares de calibración primaria para el flujo de líquido, dos son volumétricos y dos son gravimétricos. (9)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL Instituto Coreano de Investigación de Patrones y Ciencia (KRISS) de la República de Corea

Como Instituto Nacional de Metrología para la difusión del SI, KRISS dirige el Centro de Servicios de Calibración y Medición como una unidad exclusiva para difundir patrones de medición, ofreciendo servicios de calibración y pruebas en todo el mundo. Estos servicios contribuyen a impulsar la calidad de los productos industriales. KRISS desarrolló un sistema patrón de flujo de agua para la calibración del flujo de agua hasta $2000 \text{ m}^3/\text{h}$. (10)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México

Las instalaciones de flujo de líquido en CENAM constituyen el sistema de medición primario de México para las mediciones de flujo de líquidos. Este sistema de medición primario no solo sirve como base de la cadena nacional de trazabilidad sino también como una instalación importante para la investigación del flujo de fluidos. (11)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL National Metrology Institute of Japan (NMIJ) de Japón

NMIJ está a cargo del establecimiento y diseminación de patrones de medición y servicio de calibración para la medición de flujo, la velocidad y el volumen del flujo y la I + D de las tecnologías de medición relacionadas. Ahora cuentan con el equipo estándar nacional para la medición de flujo de gas, flujo de agua y velocidad del aire para proporcionar servicios de calibración relevantes. Las instalaciones de calibración de flujo de agua cubren el amplio rango entre $0,002 \text{ m}^3/\text{h}$ y $12\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ con incertidumbres entre $0,039\%$ y $0,081\%$. (12)

En la tabla 1.1 se resumen algunas características principales de las instalaciones de calibración con agua de los INM del mundo.

Tabla 1.1 Instalaciones de calibración con agua de algunos INM del mundo

INM	PIB(ITALIA)	NIST (E.U)	KRISS (COREA)	CENAM (MEXICO)	NMIJ (Japón)
ALCANCE	(0,3a210) m ³ /h	(0,48a220) m ³ /h	(0,6a200) m ³ /h	(1,5a720) m ³ /h	(0,002a1200) m ³ /h
DIAMETRO	(20a40) mm	(100a400) mm	(25a40) mm	(25a250) mm	-----
MÉTODO DE CALIBRACIÓN	Gravimétrico-Volumétrico	Gravimétrico-Volumétrico	Gravimétrico-Master meter	Gravimétrico-Volumétrico	Gravimétrico-Master meter
SISTEMA DE PESAJES (Método gravimétrico)	3 sistemas (0,3, 3, 30) t	3 sistemas (1,1,3,7,225) t	4 sistemas (0,1, 1,5, 25) t	2 sistema (1,5, 10) t	4 sistemas 10kg 50kg 5t, 50t
PROBADOR DE TUBO (Método volumétrico)	250 L	2 L y 20 L	-----	500L y 100L	-----
FLUJOMETRO MAESTRO (Método master meter)	-----	-----	Flujometro electromagnético coriolis	-----	Flujometro de referencia probador de bolas
INCERIDUMBRE	0,02 %	0,033 %	< 0,06 %	0,03 (masa) (0,04a0,05) volumen	(0,03a0,081) %

Además, existen fabricantes de flujómetros en todo el mundo como son Alden Labs, Micro Motion, Endress + Hauser, Krohne, ABB, Siemens, Yokogawa, OVAL Corporation, entre otros. La mayoría de los fabricantes de flujómetros mantienen sus propias instalaciones para la calibración inicial de los flujómetros antes de su envío. Para asegurarse de que un flujómetro está funcionando correctamente, debe ser calibrado después de que se ensambla y antes de que se entregue al cliente. Muchos también ofrecen servicios de recalibración a sus propios clientes, y algunos ofrecen estos servicios de manera más amplia.

1.5 Algunos fabricantes de flujómetros del mundo que cuentan con instalaciones de calibración acreditadas y con alta exactitud

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN ENDRESS + HAUSER

Endress + Hauser Flowtec en Reinach, Suiza, es el hogar de la plataforma de calibración de producción más precisa del mundo, desarrollada en estrecha cooperación con METAS (Oficina Federal de Metrología). Esta instalación de calibración ofrece una incertidumbre de medición acreditada de sólo ± 0.015 % que permite una verificación sin fisuras de una precisión trazable de ± 0.05 % en el instrumento de proceso. Esto representa lo mejor de la liga internacional y permite a Endress + Hauser responder a los requerimientos cada vez más exigentes de los clientes, particularmente en las industrias química, de petróleo y gas, de ciencias de la vida y de alimentos y bebidas, donde la precisión es un factor de suma importancia.

Mediante el método de calibración primario para todos los medidores, Endress + Hauser ofrece una fiabilidad sin precedentes y una prueba de las declaraciones de precisión.

A diferencia de muchos fabricantes de instrumentos y proveedores de servicios de calibración, las instalaciones de calibración de Endress + Hauser en todo el mundo están acreditadas según la norma ISO/IEC 17025, un estándar aceptado

internacionalmente para la operación de una instalación de calibración de calidad y técnicamente competente.

Endress + Hauser ha invertido en las mejores instalaciones de calibración, manteniendo la acreditación de ISO/IEC 17025 y ofreciendo calibración primaria para todos sus flujómetros. (13)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN ALDEN LABS

Alden Research Laboratory, Inc. (Alden) (Holden, Massachusetts) se fundó en 1894 como parte del Worcester Polytechnic Institute (WPI). Es el laboratorio hidráulico de funcionamiento continuo más antiguo de los Estados Unidos. Hoy, como entidad independiente, Alden se ha convertido en un líder reconocido en el campo de la investigación y el desarrollo de la dinámica de fluidos.

Alden continúa siendo un líder aclamado en la resolución de problemas de ingeniería y ambientales relacionados con el flujo. La empresa cuenta con 100 empleados y más de 120,000 pies cuadrados de espacio de laboratorio interior en un campus de 32 acres en Holden, MA, y un espacio de laboratorio adicional de 25,000 pies cuadrados en Redmond, WA. Alden proporciona modelado de flujo de ingeniería, físico y computacional junto con servicios de calibración de medidores de flujo y ambientales.

La medición del flujo ha sido una piedra angular de Alden desde nuestra concepción en 1894 como el Laboratorio Hidráulico de Alden.

La instalación tiene dos laboratorios de calibración con varios tanques de pesaje con capacidades de (1,000 a 100,000) lb (45,000 kg). (14)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN KROHNE

Operan más de 120 instalaciones de calibración para flujo volumétrico, caudal másico, nivel, temperatura, densidad y presión para calibrar (húmedo) cualquier dispositivo que fabrican. Por ejemplo, cada flujómetro se calibra en húmedo

utilizando agua o aire como estándar antes de salir de sus instalaciones. También pueden proporcionar calibración específica del cliente, como:

- Realizar calibraciones multipunto
- Varíe diferentes parámetros como temperaturas, viscosidades, presiones, etc.
- Utilizar el medio real o similar
- Construir o emular geometrías de flujo específicas del cliente
- Utilice la tubería proporcionada por el cliente

Para la calibración sólo se utiliza la comparación directa de los mensurando (por ejemplo, calibran flujómetros másicos de Coriolis con un sistema de pesaje gravimétrico). Sus plataformas de calibración son las más precisas utilizadas en la producción de dispositivos de medida en todo el mundo: la exactitud de la referencia suele ser de 5 a 10 veces mejor que la del medidor bajo prueba.

KROHNE opera la plataforma de calibración volumétrica más precisa del mundo para flujómetros hasta DN 3000 (120 ") con una precisión certificada de 0.013 %. El recipiente de referencia es un 44 m (144 pies) que contiene casi ½ millones de litros de agua, lo que permite un flujo máximo de 30.000 m³/h (7.925.000 gal/h).

Sus medidores pueden calibrarse y certificarse de acuerdo con diferentes estándares como OIML, API, Directiva de Instrumentos de Medición (MI 001, 002, 004, 005), GOST, etc. Todas sus instalaciones de calibración cumplen con los requisitos de trazabilidad según ISO 17025.

Las inspecciones periódicas de los INM, los ensayos de aptitud e intercomparaciones y las alineaciones con las normas metrológicas nacionales e internacionales de acuerdo con ISO 9000 y EN 45000 garantizan la calidad y comparabilidad de sus instalaciones de calibración. El personal que realiza las calibraciones está capacitado y recibe regularmente re-entrenamientos para asegurar la calidad y la continuidad. (15)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN NMi Euroloop

NMi Euroloop se encuentra en Rotterdam, Países Bajos. Es el sucesor de dos instalaciones de calibración de flujo anteriores; Uno situado en Bergum y el otro situado en Westerbork, los Países Bajos. NMi Euroloop, que abrió sus puertas en marzo de 2010, ha consolidado y reemplazado las capacidades de estas dos instalaciones anteriores, que ahora han cerrado para calibraciones.

Un número de compañías de flujómetros cooperan para hacer posible el uso de NMi Euroloop. Estos incluyen SICK, Honeywell, Emerson Daniel, KROHNE Elster.

La creación de NMi Euroloop ha aumentado significativamente la capacidad de calibración de flujo disponible en Europa, aunque esta instalación también calibra flujómetros desde Oriente Medio y otras regiones del mundo. También hay un mayor énfasis en la medición de la transferencia de custodia, a medida que aumenta la producción. Los flujómetros de transferencia de custodia se encuentran entre los que tienen más probabilidades de ser retirados del servicio para la recalibración, debido a los requisitos de alta precisión para las operaciones de transferencia de custodia.

NMi Euroloop utiliza el método del máster meter basado en el principio de conservación de masas. (16)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN VSL

VSL significa Laboratorio Van Swinden. Se nombra después de Jean Henri van Swinden, que vivió de 1746 a 1823, y era conferencista en Amsterdam. Van Swinden formó parte de un comité internacional para definir el metro y trabajó para que el sistema métrico se introdujera en los Países Bajos.

VSL es propiedad de TNO Companies. Una de sus principales tareas es desarrollar y mantener las normas nacionales de medición, por comisión del Gobierno holandés. Además, la organización mantiene instalaciones de calibración de flujómetros de gas y líquido. Los métodos de prueba usados por

VSL para calibraciones de líquidos incluyen máster meter, probadores de pistón, métodos gravimétricos y tanques de prueba. (17)

INSTALACIÓN DE CALIBRACIÓN CEESI

CEESI se formó como una empresa privada en 1986, su historia se remonta a 1951, cuando comenzó como la Engineering Experiment Station Inc., un programa de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Colorado en Boulder. El propósito de la operación en ese momento era probar cohetes pequeños para la estación de prueba de ordenanza naval. La Estación también probó medidores de turbina en la década de 1950, que se estaban utilizando para medir el gas combustible en los aviones. En 1986, la instalación fue adquirida por Steve Caldwell y Wald Seidl, que la rebautizó como Colorado Engineering Experiment Station Inc. Desde entonces, las instalaciones comenzaron a expandirse.

CEESI ayudó a mejorar sus capacidades de calibración cooperando en comparaciones de medidas con otros laboratorios estadounidenses y con las instalaciones de calibración de otros ocho países. La instalación de CEESI en Nunn, Colorado ofrece una amplia variedad de calibraciones, incluyendo calibraciones de flujómetros para medición de flujo de líquidos y gases. Puede manejar calibraciones de contadores muy grandes, tales como tubos Venturi grandes usados con transmisores de presión diferencial para la medición de flujo. Durante los últimos años, CEESI ha mejorado sus instalaciones y capacidades de múltiples maneras, incluyendo la construcción de una instalación de prueba de agua en el aceite, y la modernización de su instalación húmeda de gas / multifase para manejar líquidos personalizados. (18)

La revista digital Flow Research ha identificado más de 50 instalaciones de calibración de flujo independientes ubicadas en diferentes regiones del mundo. (16)

Algunas compañías ofrecen servicios de recalibración móvil que permiten recalibrar un flujómetro en el sitio. La calibración móvil tiene la ventaja de poder

duplicar más estrechamente las condiciones reales de funcionamiento del medidor durante el proceso de recalibración. Estos servicios funcionan especialmente bien con flujómetros más pequeños para aplicaciones líquidas, incluyendo líquidos de petróleo. No funcionan tan fácilmente con los flujómetros de gran tamaño o con grandes flujómetros ultrasónicos y turbinas.

1.6 Condiciones necesarias para las Calibraciones de Flujómetros

Los flujómetros cuando están en uso, deben estar en buenas condiciones de funcionamiento y tener una calibración válida para producir lecturas confiables y precisas. Buenas condiciones de trabajo en materia de uso y mantenimiento adecuados. Sin embargo, para que la calibración de cualquier flujómetro sea válida, se deben cumplir varios criterios importantes:

La calibración debe hacerse en condiciones representativas de la operación real

Siempre se recomienda que los flujómetros se calibren en condiciones que se asemejen lo más cerca posible a las de funcionamiento real. Se debe tener cuidado para hacer coincidir las propiedades del fluido, presión (especialmente para gases), temperatura y configuración de tuberías entre otros. Cuando no es posible hacer coincidir todos los parámetros importantes, se deben aplicar compensaciones apropiadas para asegurar que el rendimiento del flujómetro en funcionamiento sea predecible y confiable.

La calibración debe ser realizada por un laboratorio certificado y trazable

La acreditación y la trazabilidad documentada ayudan a asegurar que las afirmaciones de precisión hechas por una calibración de un laboratorio se cumplen de hecho.

Una vez que se identifica un laboratorio que cumple con estos estándares, las especificaciones del laboratorio deben ser revisado para determinar si cubren el rango de medición necesario con la precisión requerida.

La calibración de un flujómetro debe ser válida en el momento del uso

Este es el criterio más difícil de cumplir. El primero y el más importante.

Todos los flujómetros, independientemente del tipo, la construcción, la fabricación o la antigüedad, deben ser recalibrados periódicamente. Los flujómetros tienden a desplazarse con el tiempo debido a los efectos graduales y algunas veces imperceptibles de su entorno. Los cambios ocurren incluso y no son visibles y se han producido daños en las partes internas. Esta es la razón más convincente por la que periódicamente se requiere calibración. (19)

Los flujómetros utilizados en las industrias de manufacturas y eléctricas suelen estar sujetos a calibraciones periódicas como parte de los programas de garantía de calidad. En estos casos, el flujómetro es normalmente enviado a un laboratorio de calibración independiente o de tercera parte. Un laboratorio de tercera parte: Se trata de laboratorios independientes que ofrecen servicios al público y son responsables de ejecutar los ensayos y calibraciones adecuadamente (ISO /IEC 17025)

Una calibración es el conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida y sus incertidumbres asociadas, y la incertidumbre no es más que un parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos a la magnitud que se desea medir.

No obstante los flujómetros que intervienen en transacciones comerciales deben ser verificados. Una verificación no es más que aportación de evidencia objetiva de que un elemento satisface los requisitos especificados (20)

De esto se encarga la metrología legal que es la práctica y proceso que consiste en aplicar a la metrología una estructura legislativa y reglamentaria y hacerla cumplir.

Dentro de las actividades de la metrología legal se encuentra el control de metrología legal.

El control de metrología legal son todas las operaciones destinadas a examinar y establecer, por ejemplo, en el marco de un peritaje ante un tribunal judicial, el estado de un instrumento de medición, y a determinar sus características metroológicas, especialmente con respecto a los requisitos metroológicos e incluye:

- Control legal de los instrumentos de medición
- Supervisión metroológica

El control legal de instrumentos de medición es el término genérico utilizado para designar globalmente las operaciones legales a las cuales se pueden someter instrumentos de medición, por ejemplo, la aprobación de tipo, la verificación, etc.

NOTA: En metrología legal, el término "modelo" se utiliza con el mismo significado que "tipo".

1.7 Aprobación de modelos de Flujómetros

Después de que los flujómetros son fabricados deben tener un certificado de aprobación de modelo para su uso comercial.

Se emite un certificado de aprobación para cada modelo de instrumento una vez que ha completado satisfactoriamente su prueba y evaluación de aprobación.

Aprobación de modelo significa decisión de alcance legal, basada en la revisión del informe de evaluación de modelo, según la cual el tipo de instrumento de medición cumple con los requisitos reglamentarios aplicables y que conduce a la emisión del certificado de aprobación de modelo. (20)

Partiendo de las consideraciones anteriores, la aprobación de modelo no es más que el proceso mediante el cual se examina el modelo (diseño) de un instrumento para garantizar que sea apto para su uso con fines comerciales u otros fines legales, de tal manera que se espera que brinde resultados de medición confiables dentro de los límites máximos permisibles. Error máximo permitido (EMP) en un rango de condiciones de operación.

Un certificado de aprobación acredita que el patrón del instrumento de medición es adecuado para fines comerciales o legales, es decir, se ha examinado un instrumento de muestra y se ha encontrado que cumple con las especificaciones de aprobación de modelos.

1.8 Mejores capacidades de medición de flujo de agua

Es clara la importancia que tienen las correctas mediciones para las empresas desde el punto de vista de los sistemas de gestión de calidad, como de la calidad de los productos y servicios, lo cual está directamente asociado a la sostenibilidad de las mismas. Una buena parte de los aspectos necesarios para garantizar las correctas mediciones son los procesos de calibración de los instrumentos de medida. El primer paso dentro de este proceso es la selección del laboratorio adecuado para realizar dichas calibraciones. Uno de los parámetros a considerar dentro de la selección, es la calidad de los resultados emitidos por el laboratorio. Comúnmente la calidad se ve reflejada en la incertidumbre de medida de los resultados de calibración. Por lo anterior existen dos términos que permiten mostrar las capacidades de los laboratorios de calibración. Estos términos son “Mejor Capacidad de Medida” y “Capacidad de Medida y Calibración”.

La tabla 1.2 resume el estado actual de las Capacidades de medición (CMC) para volumetría de algunos INM y fabricantes de flujómetros en el campo del flujo de agua.

Tabla 1.2 CMC de volumetría de algunos INM

INM	INCERTIDUMBRE LOGRADA (%)	INCERTIDUMBRE MOSTRADA EN CMC (%)
PT B	0.019	0.04
NIST	0.033	0.08
VS L	-	0.05
EN DRESS + HAUSER	-	0.01

El concepto Capacidad de Medición y Calibración (CMC) enfatiza la confiabilidad de las mediciones y su dependencia de diferentes factores, entre ellos, el método de medición o calibración utilizado. La capacidad de medida es la menor incertidumbre de medición que un laboratorio puede alcanzar dentro de su ámbito de calibración cuando se realizan calibraciones más o menos rutinarias de instrumentos de medición. O sea, es la mejor capacidad de medición que ordinariamente está disponible a los usuarios bajo condiciones normales, partiendo de la Política de Trazabilidad Metrológica del país.

1.9 Situación actual del agua a nivel mundial y en Cuba

Hoy en día, alrededor de 700 millones de personas en 43 países sufren las consecuencias de la escasez de agua. En 2025, debido al cambio climático global y al crecimiento de la población en todo el planeta, esta cifra superará los 3.000 millones.

Según los expertos, el principal desencadenante de los futuros conflictos será la desigual distribución de los recursos hídricos. Los lugares donde existe mayor escasez de agua en el mundo son Oriente medio, China, India, Asia Central y África Central y Oriental. Para los países del continente africano el acceso al agua dulce es una cuestión de seguridad nacional, por lo que la decisión de Etiopía de construir en el Nilo una gran central hidroeléctrica causó un fuerte descontento por parte de Egipto.

En Egipto temen que después de la construcción de la presa el país pierda una cuarta parte de sus recursos hídricos. Casi el 98% de la población vive en el valle del Nilo. En consecuencia, no estamos solo ante una cuestión de seguridad alimentaria, sino también de producción industrial y seguridad nacional, "la guerra por el agua será mucho peor que una guerra por la energía. Las personas pueden vivir sin petróleo, pero no pueden sobrevivir sin agua".

El incremento de la demanda del agua y su uso irracional "están rompiendo un equilibrio que ya es muy precario" y amenazan con tener graves consecuencias para la humanidad. ¿Podría el agua provocar una escalada bélica? ¿Cómo frenar esta peligrosa tendencia?

“El agua es el sistema sanguíneo de este planeta; un ciclo natural sobre el que la actividad humana ejerce una enorme presión”

Tanto Postel como otros científicos y expertos pronostican que “el agua será para el XXI lo que el petróleo ha sido para el siglo XX”.

La razón por la que el oro negro es tan solicitado, hasta el punto de provocar conflictos bélicos, es que sus reservas son limitadas y “no están en manos de todos”. “Lo mismo sucede con el agua dulce una vez alcanzado un volumen de demanda superior a su capacidad de regeneración, lo que se define como ‘estrés hídrico’”, explica Postel. (CUBADEBATE). (21)

Hoy en día se evidencia un mercado de medidores de flujo cada vez más en expansión. Esto se aplica especialmente a los flujómetros ultrasónicos y Coriolis, así como a turbinas y otros tipos de flujómetros. Algunos mercados se están expandiendo a una tasa anual en el rango del 10 por ciento. Esto significa que la base instalada del flujómetro está creciendo cada año, y muchos de los flujómetros vendidos este año necesitarán calibración en los próximos tres a cinco años. Al mismo tiempo, el crecimiento de las instalaciones de calibración no parece coincidir con el crecimiento del mercado de flujómetros. Estas necesidades deberán cubrirse añadiendo instalaciones existentes o construyendo otras nuevas. (16)

Cuba no es la excepción y hoy empresas como Aguas de la Habana y de acueducto se encuentran inmersas en un plan de metraje con el objetivo de proteger un líquido tan preciado como el agua lo que hace evidente un incremento de flujómetros en el país que necesitan ser calibrados o verificados lo que trae consigo la necesidad del diseño de una instalación ya que no contamos con una en estos momentos con ese fin.

1.1.0 Costos de la calibración de flujómetros

Hay un costo para el consumidor asociado con proporcionar la mejor calibración de medidor posible. El costo de la calibración suele ser en función del tamaño y número de puntos de prueba registrados. A menudo se determina un precio base

en función del diámetro del medidor e incluye un número predeterminado de puntos de datos. Por ejemplo, el precio base para una calibración de 12 puntos de flujo de un medidor de 16 " de diámetro será de aproximadamente \$ 2,500, y los puntos de datos adicionales alrededor de \$ 50 cada uno. Los medidores electrónicos de flujo, como los magnéticos, los ultrasónicos y los Coriolis, se calibran frecuentemente registrando seis puntos de datos para que su rendimiento cumpla con las especificaciones del cliente. Un medidor de flujo magnético de 6 " costaría aproximadamente \$ 1,300 para una calibración de 12 puntos de este tipo. Las calibraciones acreditadas, según ISO/IEC 17025 por ejemplo, requieren datos y análisis adicionales, que pueden más que duplicar el costo del medidor de 6 " en el ejemplo anterior.

Los costos dependen en gran medida de la ubicación del medidor dentro de la planta, lo cual afecta el costo de su remoción y reinstalación, y la ubicación geográfica de la planta con respecto a la instalación de calibración. Esos costos se estiman en un rango de \$ 5,000 a \$ 75,000. (1)

1.11 Documentos normativos utilizados en la calibración de flujómetros de agua y de líquidos diferentes de agua y combustible

La calibración del flujómetro es extremadamente importante. Para asegurarse de que un flujómetro está funcionando correctamente, debe ser calibrado, por lo que es necesario tener en cuenta el documento normativo adecuado para efectuar la calibración, las normas utilizadas para la calibración de los flujómetros de agua son la OIML R49-1 contadores de agua destinados a la medición de agua potable fría y agua caliente Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos. Esta recomendación se aplica a medidores de agua utilizados para medir volumen de agua potable fría y agua caliente que fluye a través de un conducto y dichos medidores deben tener incorporados dispositivos que indiquen el volumen integrado. Además establece las condiciones con las que deben contar los contadores de agua para cumplir con los requisitos de los servicios de la Metrología Legal en países cuando estos instrumentos estén sujetos a controles

estatales. Esta recomendación se aplica a contadores de agua a base de principios electrónicos, y a los contadores de agua basados en principios mecánicos. También se aplica a dispositivos auxiliares electrónicos. Como una regla los dispositivos auxiliares son opcionales. Sin embargo, las regulaciones nacionales o internacionales obligar a algunos dispositivos auxiliares a tener relación con la utilización del contador de agua. Además de las medidas metrológicas y requisitos técnicos incluidos en esta Parte 1 (R 49-1) los métodos de examen y pruebas se incluyen en la Parte 2 (R 49-2) y el formato del informe de prueba se incluye en la Parte 3 (R 49 - 3). Los requisitos pertinentes de OIML R 117 Sistemas de medida de líquidos distintos del agua se aplicará cuando el contador de agua esté equipado con cualquiera de los siguientes dispositivos: dispositivo de ajuste de cero; dispositivo indicador de precios; dispositivo de impresión; dispositivo de memoria; dispositivo de preajuste; y dispositivo de autoservicio y además a aquellos contadores cuyo líquido de trabajo sea diferente de agua y de combustible.

1.12 Reconocimiento por la ISO 17025 de la Organización Regional Internacional

Este reconocimiento se obtiene con el objetivo de promover la confianza en la operación de los laboratorios y de cumplir los requisitos que permitan a estos laboratorios demostrar que operan de forma competente y que tienen la capacidad de generar resultados válidos. Contar con una instalación de calibración reconocida tiene sus ventajas. Para el cliente hay trazabilidad de acuerdo a las normas nacionales, la trazabilidad asegura una cadena de pruebas ininterrumpida con respecto al equipo de prueba, desde el dispositivo de prueba hasta el estándar jerárquicamente más alto en cada país (norma nacional). Otra ventaja es la aceptación a nivel mundial de la certificación y la inspección periódica por parte de la autoridad normativa nacional para garantizar el mantenimiento de las normas. Esto requiere que la instalación cumpla con los requisitos de la NC ISO/IEC 17025, ANSI/NCSL Z540.3 e NC ISO 9001. Estas normas proporcionan un mecanismo para promover la confianza en los laboratorios de

calibración y les permite medir cuando se demuestre que son operados de acuerdo con sus requisitos.

Obtener por el laboratorio este reconocimiento por la Organización Regional Internacional por la Norma ISO/IEC 17025 proporciona al consumidor la búsqueda de la calibración del medidor con la seguridad de que el laboratorio ha sido evaluado de forma independiente y ha demostrado su competencia y capacidad para obtener resultados válidos para el alcance definido.

La dirección del laboratorio deberá asegurar la competencia de todos aquellos que operen equipos específicos, realicen ensayos y calibraciones, evalúen resultados y firmen informes de ensayos y certificados de calibración. Cuando el laboratorio contrate personal que esté bajo capacitación, debe proporcionar la supervisión adecuada. El personal que realiza tareas específicas deberá estar calificado en cuanto a educación apropiada, capacitación, experiencias y aptitudes demostradas, según sea necesario.

La dirección del laboratorio deberá formular los objetivos con respecto a la educación, capacitación y competencia del personal de laboratorio. El laboratorio deberá disponer de una política y procedimientos para identificar las necesidades de capacitación y capacitar al personal. El programa de capacitación debe ser relevante para las tareas presentes y futuras del laboratorio.

El reconocimiento sólo se concede después de que el solicitante ha demostrado que cumple con todos los requisitos de dichas normas, que da detalles de los métodos de calibración específico, y los servicios. Además, estos laboratorios de calibración deben realizar pruebas periódicas de medición de correlación para asegurar que sus calibraciones se repitan desde el momento de la calibración del sistema. Esto es fundamental para garantizar no solo que el flujómetro produce resultados repetibles sino que proporciona los datos necesarios como prueba de que fueron calibrados dentro de su rango de incertidumbre.

1.13 Conclusiones parciales del capítulo

La investigación realizada y las bibliografías consultadas en este capítulo nos han permitido conocer que contar con una instalación certificada de este tipo nos posibilitará garantizar mediciones precisas y confiables y para ello el laboratorio debe establecer y mantener un sistema de control de calidad efectivo que incluya documentación de procedimientos de control de calidad, instrucciones de trabajo, procedimientos de calibración y registros para lograr la trazabilidad metrológica de estas mediciones y que las normas de verificación así como todas las mediciones realizadas por el laboratorio deben ser trazables a normas vigentes adecuadas.

CAPITULO 2. DIAGNÓSTICO PARA LA FUNDAMENTACIÓN DE LA INSTALACION PARA LA CALIBRACIÓN DE FLUJÓMETROS

En este capítulo se realiza la caracterización del INIMET, tomado como base para definir los métodos empleados y las etapas fundamentales de la investigación, para recopilar información sobre el estado de la calibración de los flujómetros en el país.

2.1 Caracterización del Instituto

El 6 de noviembre de 1964, se creó en el Ministerio de Industrias, el Primer Laboratorio de Metrología que transitó por diferentes etapas estructurales y formas organizativas y el 30 de noviembre de 1976 mediante la Ley 1323 de 30 de noviembre de 1976 se convirtió en el INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN METROLOGIA (INIMET).

Por el Decreto Ley No. 183 de la Metrología, de 23 de febrero de 1998, el centro fue designado como INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN METROLOGIA siendo éste, el INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE LA REPÚBLICA DE CUBA (INM).

Misión del INIMET:

- Mantener y desarrollar patrones de medición de las unidades de medida.
- Asegurar la trazabilidad de las mediciones al Sistema Internacional de Unidades (SI) a través de instrumentos de medición patrones, en correspondencia con su condición de Instituto Nacional de Metrología del país.
- Investigar, desarrollar, innovar servicios y productos de uso o para el uso en el campo de la Metrología, en correspondencia con su condición de instituto de investigaciones.
- Prestar servicios científicos y tecnológicos especializados en la esfera de la Metrología en correspondencia con su función de Centro Territorial de Metrología.

Los principales servicios que brinda el INIMET son:

- Calibración y verificación de instrumentos de medición

Los servicios de calibración y verificación que se brindan están en correspondencia con la condición de Instituto Nacional de Metrología de la República de Cuba, respaldados por los acuerdos de reconocimiento mutuo, las inter-comparaciones, las declaraciones de mejores capacidades aprobadas y publicadas, y la acreditación de los laboratorios según la norma NC ISO/IEC 17025: 2006 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración".

Estos servicios se aseguran por los laboratorios organizados por magnitudes físicas, con el personal, los equipos, instrumentos patrones, las condiciones y la documentación requeridos para lograr la trazabilidad metrológica con la mayor competencia técnica; estos son los laboratorios de mediciones de: Masa, Volumen, Presión, Electricidad, Electrónica, Temperatura, Dimensionales, Físico químicas, Densidad. Esto se describe en el organigrama. (Fig. 2.1)

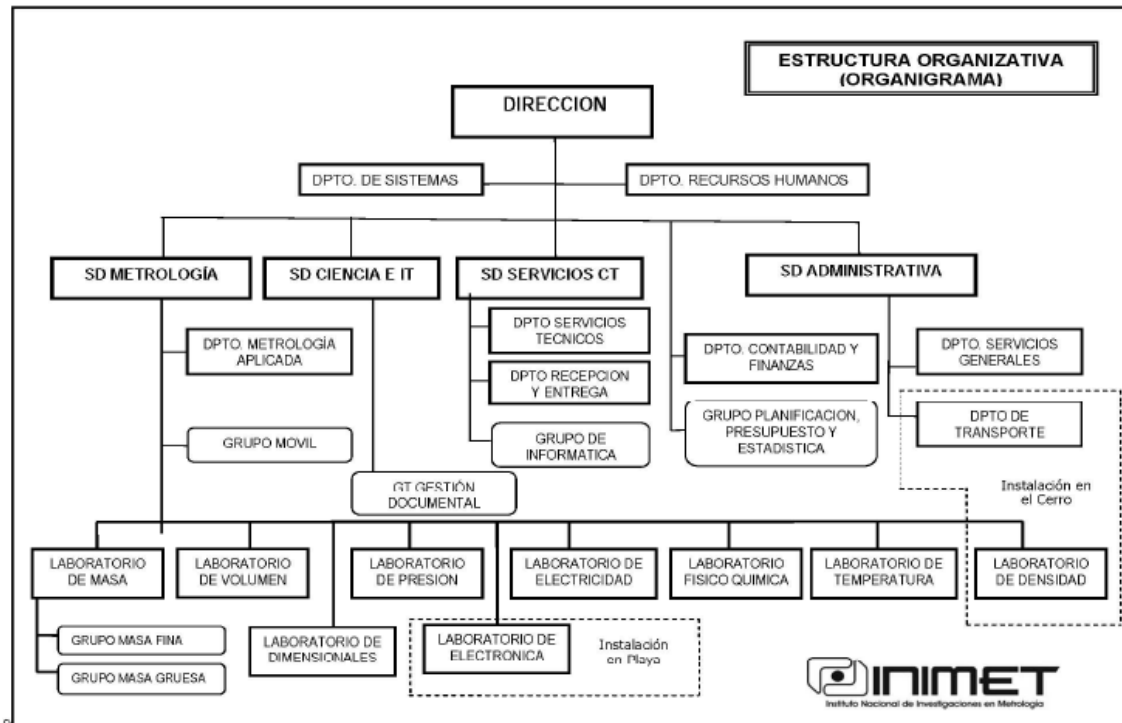


Fig. 2.1 Organigrama del INIMET

Una parte de los servicios de calibración (verificación) se presta directamente en las instalaciones del cliente por unidades móviles, denominándose servicios metrológicos “in situ”, garantizándose el cumplimiento de los requisitos de calidad previstos para esta modalidad. Los requisitos básicos de la calidad de estos servicios son: profesionalidad, capacidad y plazos de respuesta acordes a las necesidades del cliente.

▪ Capacitación externa.

Se brinda capacitación a clientes en materia de metrología científica, legal e industrial a través de un servicio personalizado, donde profesores de alto nivel científico y pedagógico desempeñan el papel fundamental con los clientes, manteniendo el rigor técnico necesario, empleando la base material de estudio adecuada y cumpliendo los requisitos de calidad: profesionalidad, comunicación, actualización y excelencia. (22)

Este sistema abarca actualmente los procesos P01 al P11 en su gestión (Fig. 2.2).

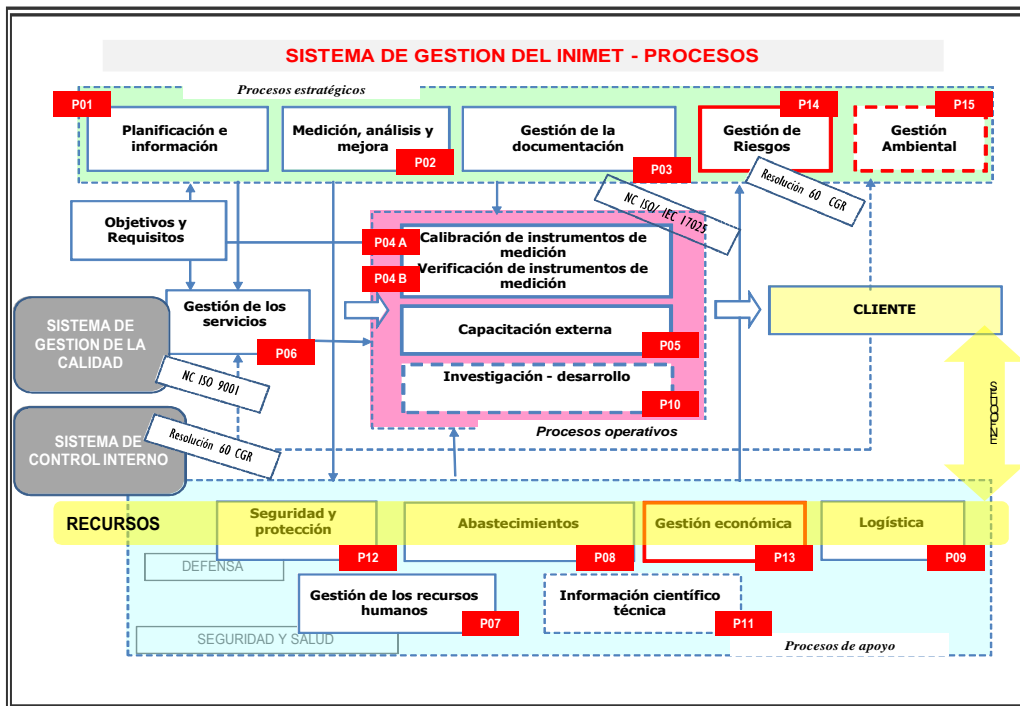


Fig. 2.2 Mapa de procesos del INIMET

El Sistema de Gestión de Calidad (SGC) está diseñado sobre la base de la norma NC ISO 9001, está aplicado a toda la gestión del Instituto y complementado con la norma NC ISO/IEC 17025 para asegurar la competencia de los laboratorios de calibración.

El INIMET trabaja desde el año 2007 con un enfoque de procesos, conjugando en el SGC de manera armonizada los requisitos y acciones para garantizar que la gestión de la institución cumpla con lo establecido en las normas NC ISO 9001 y NC ISO/IEC 17025, esto está en correspondencia con la misión del laboratorio y la condición de INM de Cuba, respaldado por los acuerdos de reconocimiento mutuo, las Intercomparaciones en las cuales ha participado el laboratorio con resultados satisfactorios, y las declaraciones de sus capacidades de medición aprobadas y publicadas, además de contar con personal, equipos, instrumentos patrones, las condiciones y la documentación técnica requerida para la realización del servicio con la competencia técnica amparada desde el año 2008 por el reconocimiento de la organización regional COOMET (EURO-ASIAN COOPERATION OF NATIONAL METROLOGICAL INSTITUTIONS) por la norma ISO/IEC 17025. Hasta la fecha se han efectuado 3 evaluaciones por pares, contando con la participación de un grupo de 5 expertos del Comité Técnico TC 3.1 del Fórum de Calidad de COOMET, que confirma el buen funcionamiento del SGC del INIMET.

El proceso P 04 A Calibración de instrumentos de medición y el P 04 B Verificación de instrumentos de medición, se encuentran vinculados con el aseguramiento metrológico de los flujómetros.

2.2 Métodos utilizados para el diagnóstico de una instalación para la calibración de los flujómetros en el INIMET

El diagnóstico consistió en un levantamiento metrológico en diferentes empresas del país, para determinar el alcance de la instalación de calibración de flujómetros que tenemos como objetivo diseñar. También expresa la importancia del agua un valioso recurso que está en extinción en el mundo lo que hace tan necesario su uso racional y ahorro, de aquí la gran necesidad de llevar a cabo un plan de

metraje que tiene que ser respaldado por calibraciones de tales instrumentos, así como a otros de las industrias que intervienen en procesos importantes dentro de las mismas, por lo que se hace imprescindible una instalación de calibración que garantice la trazabilidad metrológica de dichos instrumentos de medición.

Se utilizó la técnica de entrevista, se obtuvieron datos importantes para el desarrollo de la investigación, fueron visitados algunas de las empresas del país, la entrevista fue aplicada a directivos, especialistas y técnicos vinculados al proceso de servicio, brindando información de primera mano acerca de la problemática concreta que podía o no presentar la institución con respecto a la calibración de los flujómetros.

Guión de la entrevista:

1. ¿cuántos flujómetros existen en su empresa?
2. ¿qué tipos de flujómetros?
3. ¿qué modelos, hay en existencia?
4. ¿cuáles son los intervalos de medición?
5. ¿cuáles son sus características metrológicas?
6. ¿tienen estos instrumentos de medición certificados de calibración, certificado de conformidad y documentación técnica del fabricante?
7. ¿los instrumentos de medición cuentan con aseguramiento metrológico?

Para la elaboración del diagnóstico se realizó el análisis de la siguiente documentación:

- OIML R49-1: 2013 Contadores de agua destinados a la medición de agua potable fría y agua caliente Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos.
- OIML R 117: 2010 Sistemas de medida de líquidos distintos del agua
- ISO 4185: 1980 Measurement liquid flow in closed conduits Weighing method
- Decreto-Ley 183 de la Metrología. Gaceta Oficial No. 17 Ordinaria. Cuba. 1998.
- DG 01 Instrumentos de medición sujetos a verificación y los campos de aplicación donde serán utilizados. 3. Edición. 2014.

- Manual de Calidad del INIMET, Manual de Calidad para los Laboratorios.
- LA 09 Sellado y confección de los certificados de calibración y enmiendas a los certificados.
- LA 10 Sellado y confección de los certificados de verificación y enmiendas a los certificados.

2.2.1 Etapas de investigación

Teniendo en cuenta las experiencias en el desarrollo del proceso de calibración y verificación de instrumentos de medición y sobre la base de éstas, fueron estructurados los aspectos más importantes a desarrollar en este trabajo.

Etapas fundamentales de la investigación:

1. Diseño del protocolo de investigación (planteamiento del problema, determinación del tipo de investigación y diseño de investigación, de las variables, del método a emplear, entre otras).
2. Búsqueda bibliográfica. Procesamiento de la bibliografía y de la información contenida en la misma.
3. Levantamiento metrológico de los flujómetros existentes en el país, a través de una entrevista a directivos, especialistas y técnicos.
4. Evaluación de los rangos de medición de los flujómetros.
5. Ejecución del diagnóstico de la instalación para la calibración y verificación de los flujómetros.
6. Diseño de la instalación para la calibración y verificación de los flujómetros en el Laboratorio de Volumen del INIMET.
7. Evaluación del diseño de la instalación para la calibración y verificación de los flujómetros y análisis por el grupo de expertos.
8. Elaboración de la tarea técnica de la instalación para la calibración y verificación de los flujómetros.
9. Elaboración de la propuesta de proyección de esquema de trazabilidad metrológica del Laboratorio de Volumen del INIMET.

La validación es la confirmación a través del examen y el aporte de evidencias objetivas, de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto. La validación del diseño de la instalación para la calibración y verificación de los flujómetros en el Laboratorio de Volumen se realizará de la siguiente forma:

- Presentación del diseño de la instalación para la calibración y verificación de los flujómetros al CCT del INIMET, con el objetivo de validarlo.
- Emisión por parte del CCT del Instituto de los Avales correspondientes.
- Incorporación del diseño a la tarea técnica y elaboración de la propuesta de proyección de esquema de trazabilidad metrológica para el Laboratorio de Volumen.

2.3 Diagnóstico sobre la instalación para la calibración de los flujómetros en el país

Para la ejecución de las diferentes etapas de investigaciónse tuvo en cuenta el esquema que aparece en la Fig. 2.3.

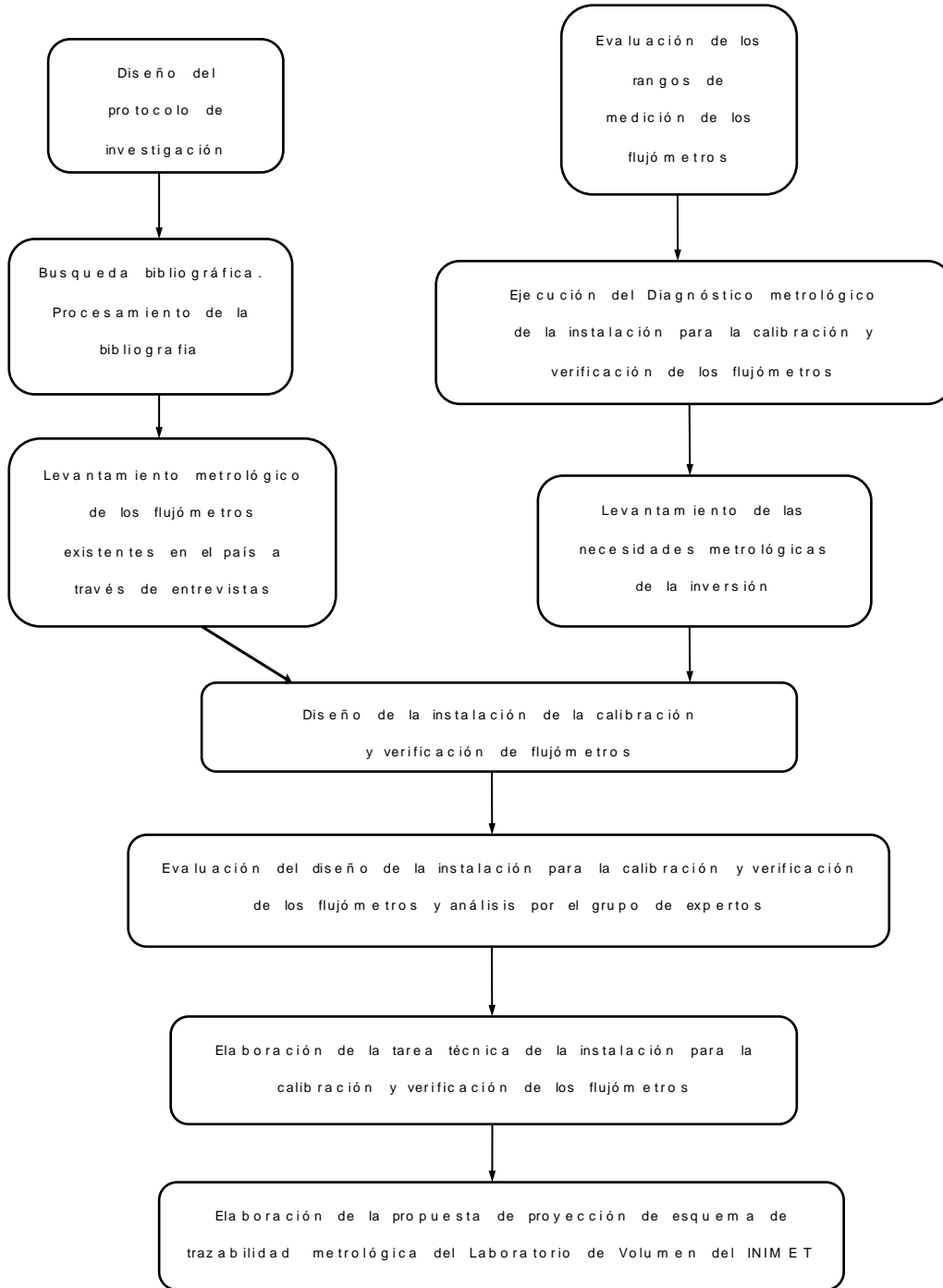


Fig. 2.3 Esquema de trabajo para la ejecución de las diferentes etapas de investigación.

2.3.1 Comportamiento del diagnóstico sobre la instalación para calibración de los flujómetros en el país

2.3.1.1 Aplicación de la entrevista al personal seleccionado

Se realizó la entrevista a un total de 20 personas, vinculadas a algunas de las empresas que cuentan con flujómetros que requieren ser calibrados y verificados, de ellos el 48,2 % fueron directivos y el 51,8 % son especialistas. Además, en lo referente a su formación, el 18,5 % del total son técnicos y, el resto, son de nivel universitario (81,5 %).

Una vez evaluadas las respuestas, los resultados demostraron que:

- ❖ existen varias marcas de flujómetros instalados en diferentes industrias del país.
- ❖ se evidencian diferentes modelos de varios fabricantes donde:
 - El Diámetro nominal se encuentra: (13 a 300) mm
 - El Rango de flujo se encuentra: (1,5 a 600) m³/h
- ❖ muchos de ellos utilizan como líquido de trabajo el agua
- ❖ otros utilizan líquidos distintos de combustibles
- ❖ un porcentaje de los mismos intervienen en transacciones comerciales
- ❖ hoy en día es difícil darles trazabilidad metrológica.

La situación identificada contribuye a determinar la necesidad de una instalación para la calibración y verificación de los flujómetros existentes, esto permitiría ejercer control metrológico sobre aquellos flujómetros que intervienen en transacciones comerciales (verificación) y calibrar los que aunque no intervienen en esta actividad requieren de mediciones precisas y confiables.

2.3.1.2 Levantamiento metrológico de los flujómetros existentes en el país

AGUAS DE LA HABANA

Una de las entidades que hoy está procurando, conforme a la disponibilidad de esos recursos, mejorar gradualmente el servicio de suministro a la población, en su área de acción, es la empresa de acueducto Aguas de La Habana.

De acuerdo con lo informado por directivos de la organización, Aguas de la Habana se encuentra desde hace varios años imbuida en un amplio plan de metraje, al igual que la mayoría de las empresas de acueducto del país. Este proyecto, explicaron sus rectores, deberá contribuir a localizar las pérdidas de agua por salideros en la red pública que no salen a la superficie, e implementar como objetivo supremo el servicio de agua de 24 horas.

Esta empresa, destaca que la calidad del agua es un factor que atenta contra la efectividad del metro contador (flujómetros). Por ello ha sido un parámetro tomado en cuenta para su restitución, en un ciclo de vida útil que alcanza de ocho a diez años. Este es un dispositivo mecánico, que si bien su parte del metraje está aislada del agua, contiene la hélice que tiene contacto directo con el líquido. La cal incrustante y el cloro son agentes agresivos al dispositivo que van frenando el contador hasta provocar la detención total del marcaje.

Por otro lado está demostrado que el metro contador (flujómetros) con el paso del tiempo va perdiendo la confiabilidad de sus mediciones, lo que traído la realización de cálculos promedios y que se renovarían los instrumentos de medición a partir de considerar calidad de agua, vida útil y nivel de confiabilidad de las mediciones.

La rentabilidad de este proyecto debe ser vista no solo desde el punto de vista económico, sino medio ambiental, porque se trata de hacer uso sostenible de un recurso muy escaso, que se gasta y de lo que depende la prolongación de la vida en el planeta.

Según directivos se han logrado instalar más de 10 000 contadores tanto en el sector estatal como en el residencial.

Estos contadores permitirán realizar una facturación justa y equitativa a los usuarios según el servicio que se presta, y sobre todo, es un método que crea un nivel de conciencia de ahorro de agua uno de los objetivos específicos del plan de metraje porque ya no es una facturación estimada sino que el cliente paga lo que consume. (23)

En la Figura 2.4 y Tabla 2.1 se muestran un contador de agua doméstico usado en Aguas de la Habana y sus características metroológicas respectivamente.



Fig. 2.4 Contador de uso doméstico ABB IBERCONTA

Tabla 2.1 Contador de agua tipo doméstico usados en Aguas de la Habana

Marca	Diámetro nominal	Q nominal m ³ /h
ABB IBERCONTA	13 mm	1,5

GRUPO EMPRESARIAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO (GEAAL)

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) cuenta con más de 400 millones de pesos destinados a inversiones en lo que respecta a la eliminación de las fugas y erradicación de los salideros de agua.

Para disponer de más agua no se puede esperar por la terminación de las obras que, dentro de más de tres décadas, logren erradicar los salideros de las conductoras y redes, pero sí se pueden eliminar todas las fugas posibles, hasta la gota que cae del grifo en los hogares y centros de trabajo, opinan sus directivos.

La toma de conciencia en el ahorro del agua debe ir aparejada con la medición del suministro, para que el monto a pagar por el consumo también convenza a muchos y les lleve a eliminar los salideros en centros de trabajo y viviendas.

Se han realizado análisis pormenorizado del líquido suministrado y su correspondencia con los niveles de producción, tanto en el sector agrícola como en el industrial.

En algunos hoteles habían bloques completos en mantenimiento, con grandes salideros. Han ido metrando el consumo por área. En el sector de la salud, también lo hacen los hospitales.

La industria alimentaria, gran consumidora, ahora utiliza mangueras con pistolas de agua a presión para reducir el gasto.

Una mayor eficiencia en el abasto y en el consumo, contando con un Índice de pérdidas mínimo, permitiría ahorrar alrededor de 1 500 millones de metros cúbicos de agua, lo cual equivaldría a tener disponible este recurso para casi un año y medio.

La tendencia es ganarle la batalla al derroche, ya sea mediante los cobros del consumo en los lugares que cuentan con metros contadores, o por la planificación de una cifra de suministro para el año, y la suspensión del abasto cuando se comprueba un uso incorrecto (acción amparada en el Decreto Ley 138 de 1993, legislación que se completaría con más precisión tras la aprobación por el Parlamento de la Ley del Agua).

Uno de los sectores donde más se ha avanzado en materia de ahorro y uso racional del agua es en el Turismo. Actualmente, según datos ofrecidos por el INRH, las industrias alimentaria y turística consumen el 15 por ciento del total de este recurso en el país.

Las instalaciones hoteleras requieren de suministros considerables para el llenado de piscinas, regar áreas verdes y la elaboración de alimentos. Debido a la ampliación de este sector, el empleo del líquido vital es cada vez mayor y se requiere más ahorro.

Entre los ejemplos más importantes de reducción del gasto de agua sobresale la Organización Superior de Dirección Empresarial (OSDE) Cubanacán, con la mayoría de sus hoteles hoy cumplidores de la norma de consumo.

El metraje permite controlar las cantidades del líquido desde que este sale del embalse hasta que llega a su destino, e incluso dentro de este. Una adecuada medición contribuye a saber cuánto se pierde por los salideros, quiénes son los consumidores que derrochan o ahorran más, y realizar entonces la intervención necesaria.

En 2016 estaba previsto culminar el metraje de todos los centros estatales. El área residencial debería esperar un poco más, debido a la cantidad de viviendas y el número de metros contadores que se requiere importar. Además, metrar dicho sector implica garantizar primero un adecuado abasto de agua y estado de las redes, algo en lo que aún hay que trabajar. Se declara que se pretendía cerrar con cerca del 20 % del metraje en el sector residencial.

Algunos ejemplos de zonas que han avanzado más en la instalación de los equipos de medición son Cabaiguán, en Sancti Spíritus; Varadero, en Matanzas; y El Llano, en Holguín.

Con el metraje se ha logrado llevar el per cápita de consumo de la población a 235 o 240 litros al día, cuando la norma establece alrededor de 260. En el caso de las instalaciones hoteleras, se establece como norma 1.2 metros cúbicos por habitación al día y se está usando entre 0.85 y 1.2, según el último resultado anual.

El proceso de metraje en Varadero es antiguo. Comenzó por iniciativa del líder de la Revolución Fidel Castro, durante una visita a la región. A partir de 1995, cuando surge Aguas Varadero, se reponen los metros (flujómetros) y comienzan a instalarse en las crecientes poblaciones de Santa Marta, Boca de Camarioca y Varadero. Acueducto de Aguas Varadero, analiza lo que implica el cobro del servicio a las personas que reclaman que se les cambien o les reparen el metro contador (flujómetro) y todo esto se justifica porque lleva aparejada la calidad del servicio.

Actualmente, los metros contadores son importados desde China. Hoy el INRH trabaja en crear laboratorios en Cuba para ensamblarlos, y de esa manera contribuir con la sustitución de importaciones y la continuidad del proceso de metraje en todo el territorio nacional.

Existe como contratiempo que no se logra ir al ritmo que demanda el proceso de renovación de los metros contadores, algunos ya llevan entre siete y 10 años de explotación, y eso puede afectar su confiabilidad, precisamente por la imposibilidad de obtener piezas de repuesto.

El metraje (Fig. 2.5) es como el motor impulsor del rendimiento superior en los sistemas de abasto, es adecuada la política de metrar primero a hospitales, escuelas, fábricas y otros centros ubicados en áreas residenciales para, de alguna manera, bajar sus consumos y que esa agua ahorrada se reparta de forma más equitativa. (24)



Fig. 2.5 Ejemplo de metraje como medida más eficiente de ahorrar y usar el agua de forma racional

Referencia de algunos lugares donde se tiene instalados medidores de flujo de mayor volumen (metros contadores WOLTMAN)

En la Tabla 2.2 se referencian algunos lugares con mayor diámetro y metro contador tipo Woltman por el GE A A L

Tabla 2.2 Referencia de algunos lugares con mayor diámetro y metro contador tipo Woltman por el GE A A L

Provincia	Organismo	Gran Consumidor	φ de la conductora(mm)	φ medidor(mm) metro contador WOLTMAN	Qm3/h
Matanzas	CAP	Hospital Faustino Peres	150	150	150
	CAP	Vocacional	100	100	60
	MNAL	Empresa Carnica	150	150	150
	MINEN	CT Antonio Guiteras	200	200	250
Villa Clara	MINDUST	Lacteo	200		250
	MNAL	Universidad de las Villas	200	200	250
	CAP	Hospital Provincial Armando M	200	200	250
Camaguey		Industria Fertilizante	300	300	600
		Termoelectrica Nuevitas	300	300	600

OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN

La ONN es una organización gubernamental, adscripta al CITMA y según el acuerdo 5179 del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros, es la institución creada para proponer, organizar y ejecutar, según corresponda la aplicación de la política estatal en materia de normalización y calidad y en razón de dicho objetivo su sistema organiza, coordina, ejecuta y controla el trabajo de normalización nacional y planificación de las actividades vinculadas con la normalización y la calidad; es el órgano principal de la Inspección supervisión Estatal de la Calidad, es el Órgano Nacional de Certificación; en relación con la metrología es la autoridad nacional en metrología y en relación con ello establece los principios y regulaciones generales para la organización y régimen jurídico de la actividad metrología en Cuba. (25)

Además, es la encargada de aprobar los modelos de aquellos instrumentos de medición importados que van a ser usados por las diferentes industrias de la economía de acuerdo a la disponibilidad que tenga el país a través del INIMET de dar trazabilidad metrología a los mismos.

Las diferentes industrias de la economía tales como la alimentaria, la agrícola, la farmacéutica entre otras utilizan en sus procesos flujómetros importados pues Cuba no cuenta con fabricantes de tales instrumentos de medición por lo que la ONN debe aprobar los modelos que llegarán al país con tales fines garantizando de esta manera que luego puedan ser calibrados de manera trazable. Desafortunadamente muchas industrias no tienen conciencia de la importancia de que estos equipos luego de ser importados y de tener un tiempo de explotación sean calibrados y en muchas ocasiones violan este paso tan importante, es por eso que hoy en el país existen muchos flujómetros a los que no se les puede dar trazabilidad y sus mediciones pasados unos años de uso debido al desgaste y la exposición a sustancias o productos agresivos ya no son confiables y tienen que ser reemplazados por otros incurriendo estas industrias en nuevos gastos, otras además tiene que enfrentar también los gastos de calibraciones en el extranjero

pues sus flujómetros no tiene modelos aprobados por el órgano responsable de esta actividad.

La tabla 2.3 muestra algunos de los modelos aprobados por la ONN y usados en las diferentes industrias del país.

Tabla 2.3 Modelos aprobados por la ONN

Fabricante	Modelo	Rango de flujo
Ningho Water Meter Co. Ltd.	MJ-SDC DN 15 mm	Qmax 3m ³ /h Qmin 30l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	MJ-SDC DN 20 mm	Qmax 5m ³ /h Qmin 50l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	MJ-SDC DN 25 mm	Qmax 7m ³ /h Qmin 3,5l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	MJ-SDC DN 32 mm	Qmax 12m ³ /h Qmin 120 l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	MJ-SDC DN 40 mm	Qmax 20m ³ /h Qmin 200l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	WP-SDC DN 150 mm	Qmax 300m ³ /h Qmin 4,5l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	WP-SDC DN 200 mm	Qmax 500m ³ /h Qmin 7,5l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	LXSC-13D3	Qmax 2m ³ /h Qmin 32 l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	LXSC-25G	Qmax 7,875m ³ /h Qmin 126l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	LXSC-32G	Qmax 12,5m ³ /h Qmin 126l/h
Ningho Water Meter Co. Ltd.	MJSDC DN 50	Qmax 31,3m ³ /h Qmin 0,313l/h
Fecosan Contadores SL	MJM-ROC1515 DN 15	Qmax 3m ³ /h Qmin 0,03 l/h
NinghoAimei Meter Manufacture Co. Ltd.	MD-A/MD-AP	Qmax 2.5m ³ /h y 4 m ³ /h
Fecosan Contadores SL	MJM-ROC1515 DN 15	Qmax 3m ³ /h Qmin 0,03 l/h
NinghoAimei Meter Manufacture Co. Ltd.	MD-A/MD-AP	Qmax 2.5m ³ /h y 4 m ³ /h

Después de analizar los datos recopilados a través de nuestra investigación con las diferentes empresas pudimos concluir que el mayor flujo de trabajo de los flujómetros con que cuenta la economía es de $600 \text{ m}^3/\text{h}$ con un diámetro nominal de 300 mm (que son 12"), estos flujómetros se encuentran en la industria de fertilizantes y la Termoeléctrica de Nuevitás, Camagüey y el flujo más pequeño de los flujómetros existentes en el país es $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ como flujo nominal con un diámetro nominal de 13 mm, tales flujómetros son los usados para el uso doméstico por la empresa Aguas de la Habana, por lo que nuestra instalación debe cubrir este rango de trabajo para garantizar la trazabilidad metrológica de tales flujómetros. También, hay flujómetros industriales para agua en la industria farmacéutica con flujos menores, que se pueden calibrar actualmente con patrones del laboratorio.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, el alcance de la instalación de calibración de flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo, que tenemos como objetivo diseñar, será de $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ a $600 \text{ m}^3/\text{h}$ como rango de flujo de trabajo, con un diámetro nominal de 15 mm a 300 mm.

2.3.2 Formación de los recursos humanos en el tema

El proceso de gestión de los recursos humanos, cuenta con el procedimiento general PG 17 "Capacitación interna" el cual define y gestiona la capacitación de todos los trabajadores del INIMET, con el objetivo de mejorar su competencia y calificación para cumplir con calidad las funciones de su puesto de trabajo y alcanzar los máximos resultados productivos o de servicio, mediante la formación, adquisición de habilidades y experiencia, así como la actualización de los conocimientos técnicos prácticos del personal.

Además fueron capacitados 4 especialistas de la institución con 2 cursos avanzados de mediciones de flujo dinámica y 3 técnicos en uno de ellos.

El Laboratorio de Volumen del INIMET actualmente cuenta con los siguientes patrones:

- 1 flujómetros de agua con un rango de medición de (15 a 60) m³/h y 1 de combustible con rango de medición de (5,7 a 29,7) m³/h clase 0,2
- 2 recipientes de 200 L 2da clase 0,1 uno de agua y uno de combustible
- 2 recipientes de 200, 50, 20, 10 y 5 L, de 1ra clase 0,025 de agua y combustible
- Patrón nacional : 4 pipetas de clase 0,008 de 1, 2, 5 y 10 L

además el laboratorio cuenta con un capital humano de 12 personas de ellos 3 profesionales de nivel superior y 9 técnicos en metrología, el alcance del laboratorio en mediciones de flujo de agua es de hasta 60 m³/h y el esquema de trazabilidad metrologico queda constituido según la figura 2.6.

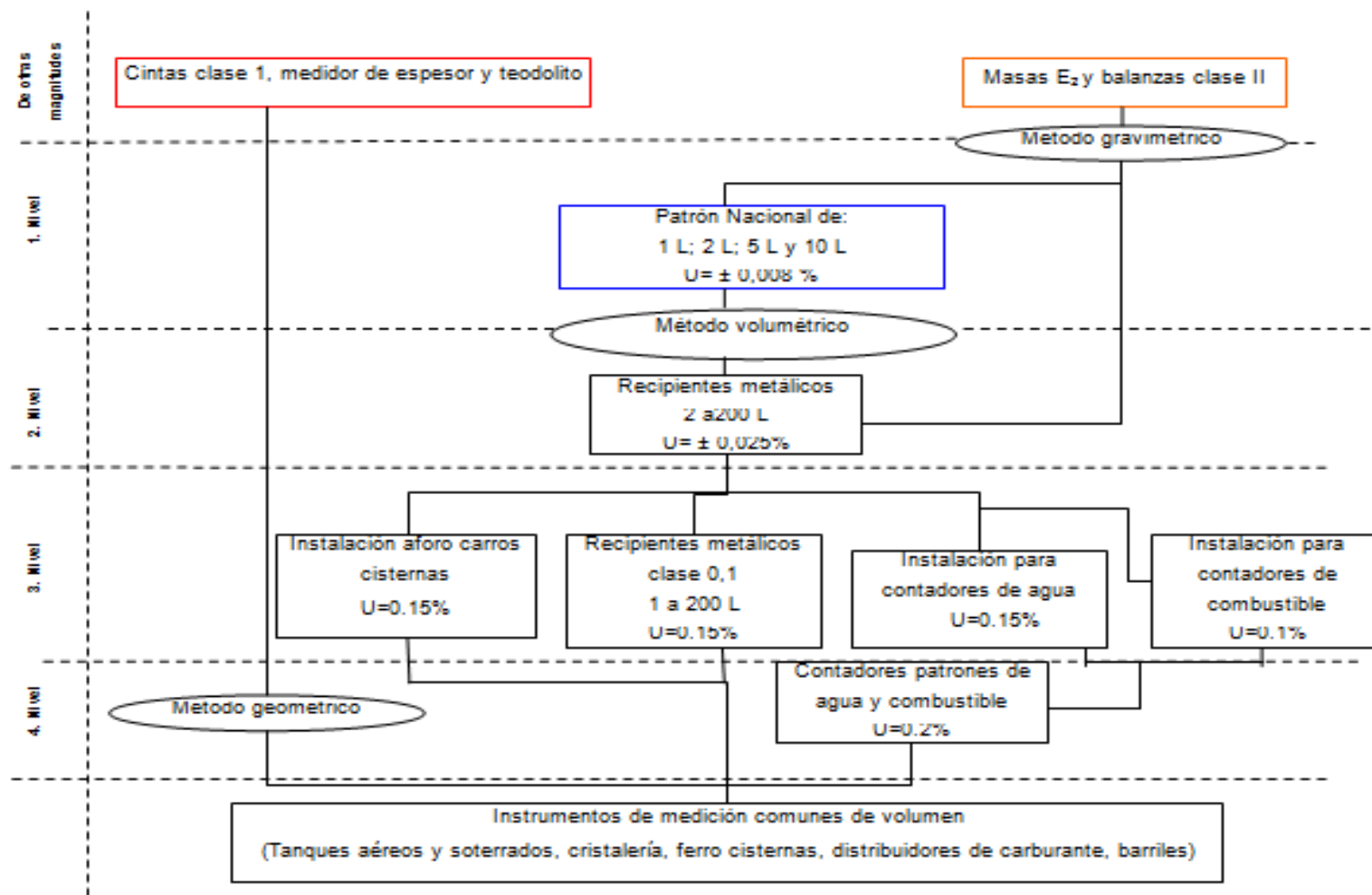


Fig.26 Esquema de trazabilidad metrológica del Laboratorio de Volumen INIMET

2.3.3 Fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora

Contar con un Sistema de Gestión en el Instituto donde se encuentren alineadas la NC ISO 9001 y la NC ISO/IEC 17025, proporciona la posibilidad de ejecutar los servicios de calibración y verificación de instrumentos de medición con la calidad requerida. Esto permite lograr la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes, desarrollando y mejorando continuamente los procesos que sustentan la actividad de la institución, y ello beneficia de cierta forma nuestro trabajo en las mediciones de flujo.

Este estudio nos ha permitido conocer que son muchos los flujómetros que son usados en las diferentes industrias y que con el plan de metraje que existe en el país para garantizar el uso racional y ahorro del agua, es cada vez más creciente el uso de flujómetros en todos los sectores lo que conlleva a más calibraciones y verificaciones de los mismos en los próximos años, con el fin de que su uso sea óptimo, hoy en día por no existir una instalación que permita realizar tales operaciones que garantizan mediciones exactas y confiables estos flujómetros usados en el plan de metraje que lleva a cabo el país también son sustituidos comprando otros para ser reemplazados porque sus mediciones dejan de ser confiables lo que ocasiona gastos considerables en la economía en momentos en los que todavía no se ha podido cumplimentar el plan previsto de metraje para todo el país. Poder realizar estas calibraciones reportaría ahorros cuantiosos.

Los flujómetros usados en las diferentes industrias por no ser de fabricación nacional se importan lo que ocasiona gastos contables a la economía, tener que enviar tales equipos a otro país para ser calibrados o verificados por la no existencia de una instalación donde poder llevar a cabo tales operaciones elevaría el presupuesto del que tendrían que disponer todos aquellos sectores que hacen uso de estos equipos, este es un fundamento más que nos exige disponer de una instalación de calibración de flujómetros que permita que los mismos cumplan con los parámetros metrológicos adecuados para su buen funcionamiento y por consiguiente que garanticen mediciones confiables.

Partiendo de esta consideración se identificaron fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora para la institución, las cuales se mencionan a continuación:

Fortalezas

- Existencia de 2 especialistas y 3 técnicos con conocimientos avanzados en mediciones de flujo.
- El plan de capacitación del resto de los técnicos que conforman el laboratorio cuenta con acciones para el adiestramiento de los mismos en esta nomenclatura en el período de un año.
- Existe actualmente una instrucción de calibración aprobada y registrada dentro del SGC para la calibración de los flujómetros de combustible.
- Existe un proyecto de investigación destinado a diseñar, construir y certificar una instalación de calibración y verificación de flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo.

Debilidades

- No contamos en la actualidad con una instalación que nos permita llevar a cabo la calibración y verificación de los flujómetros en el país utilizando agua como líquido de trabajo.
- El 50 % de los técnicos que forman el laboratorio hoy día carece de adiestramiento en esta nomenclatura.

Oportunidad de mejora

- Esta investigación permitió identificar la necesidad de una instalación de calibración y verificación de flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo.

2.4 Conclusiones parciales del Capítulo

- Se tiene como misión la realización del proceso de calibración y verificación, además de contar con la base legal necesaria.
- Se lograron identificar los diferentes modelos de flujómetros existentes en el país, definiéndose las características metrológicas.
- Se cuenta con cuatro fortalezas, dos debilidades y una oportunidad de mejora en la institución para apoyar el aseguramiento metrológico de los flujómetros en el país.

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN PARA CALIBRACIÓN DE LOS FLUJÓMETROS EN EL INIMET

Este capítulo refiere las bases para el diseño y elaboración de la tarea técnica de la instalación para la calibración de los flujómetros en el país, así como la propuesta de proyección de los diagramas de trazabilidad metrológica para el Laboratorio de Volumen del Instituto.

3.1 Diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros en el Laboratorio de Volumen

Para elaborar el diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros en el Laboratorio de Volumen, se realizó la:

➤ Identificación de las características metrológicas

Esta investigación nos permitió determinar que las calibraciones con agua de los flujómetros en la instalación serán en un intervalo de flujo desde 0,3 m³/h hasta 600 m³/h y con diámetro nominal desde 15 mm hasta 300 mm, con incertidumbre expandida para $k=2$ y 95 % de nivel de confianza en el rango de (0,05 a 0,10) %.

➤ Método de mediciones de flujo

Las instalaciones de calibración de flujómetros utilizan diferentes métodos de medición que las caracterizan tales como: método de medición gravimétrico, método de medición volumétrico y método de medición de master meter o de medidor maestro de los cuales refiere en el epígrafe 1.1 del capítulo 1 de la tesis.

La instalación diseñada utilizará el método de medición gravimétrico y master meter, que asegurará en el futuro mediciones más exactas, con niveles de incertidumbres mejores a los flujómetros en el país para líquidos como el agua, o diferentes de combustibles que existen en las entidades de la economía nacional. Con el método gravimétrico específicamente se garantizará trazabilidad metrológica a los flujómetros patrones de la instalación de calibración, así como a todos los flujómetros con indicación en unidades de masa.

Método Gravimétrico

Este método consiste en pesar la cantidad de líquido colectado en un recipiente (ver Fig. 3.1). El recipiente se pesa vacío, luego lleno y la diferencia es calculada. Esto da el peso del fluido colectado, la cantidad tiene que ser la masa (y probablemente convertir a volumen) el peso colectado debe ser corregido por el efecto del empuje del aire.

Para determinar el volumen, la masa colectada se divide por la densidad en el contador de flujo y la densidad puede ser medida utilizando un densímetro en la línea o en el propio tanque pesa. La densidad en el contador se calcula de la medición de densidad, el factor de expansión del fluido y la temperatura y presión en el contador.



Fig. 3.1 Ejemplo de instalación gravimétrica (26)

Método Máster Meter o Medidor Maestro

El líquido circula a través del máster meter y el flujómetro bajo prueba, seguido se comparan las indicaciones de ambos flujómetros (ver Fig. 3.2).



Fig. 3.2 Ejemplo de instalación Master Meter

Regímenes de trabajo

Existen dos regímenes de trabajo para ambos métodos, el start stop estático y start stop dinámico.

Régimen start stop estático

- La colección de datos comienza y termina a condiciones de cero flujo.
- En este caso, el tiempo de la corrida debe ser suficiente para considerar los errores provocados por las variaciones en el flujo al comienzo y al final de la corrida.

Régimen start-stop dinámico

- La colección de datos comienza y termina mientras el fluido se mantiene en movimiento a un flujo estable.

▪ **Selección de instrumentos de medición auxiliares y patrones**

La instalación para la calibración de los flujómetros en el Laboratorio de Volumen del INIMET estará conformada por:

- Tanque de almacenamiento para el suministro y retorno del líquido (mayor que 20 m³).
- Tres líneas de prueba de 2", 6", 10", con adaptadores para cubrir el intervalo de calibración desde 15 mm hasta 300 mm. Las líneas de prueba de no menos de 8 m de largo.
- Sección de bombas para cubrir el intervalo de flujo requerido.
- Sistema automático de control, incluyendo software de calibración.
- Impresora
- Tanque pesa de 0,3 m³ y 10 m³.
- Válvula diverter (válvula desviadora del fluido hacia el tanque pesa)
- Cisterna de 40 m³ de capacidad nominal para el almacenamiento del agua
- Termómetros (termoresistencia) para la medición de la temperatura ambiente y del líquido de trabajo. Este último ubicado corriente arriba (entrada) del flujómetro que se comprueba.
- Manómetros (transductores de presión) para la medición de la presión corriente arriba (entrada) y corriente abajo (salida) del flujómetro que se comprueba y de los dos máster meter.
- Densímetro digital para la medición de la densidad en las líneas de trabajo.
- Set para la medición de los parámetros de condiciones ambientales.

▪ **Instrumentos de medición patrones de la instalación**

- Dos instrumentos de pesar de 0,3 t y 10 t ubicados sobre celdas de carga.
- Dos master meter tipo Electromagnético.

Completamiento y accesorios

- Set de tuberías de acero inoxidable con adaptadores universales y acoplamientos desde 20 hasta 350 mm de diámetro para las conexiones de flujómetros de diferentes medidas.
- Filtros con eliminador de aire ubicados en:
 - la entrada del sistema de bombeo.
 - la entrada de cada línea de prueba
- Válvulas de compuerta con la siguiente ubicación:
 - a la entrada y salida de cada bomba
 - a la entrada de cada línea de prueba, delante de los filtros
- Válvulas de cierre rápido para el control del flujo, con la siguiente ubicación:
 - a la entrada de cada línea de prueba para permitir e interrumpir el paso del fluido hacia el flujómetro que se comprueba.
 - Visores en las líneas y a la entrada de cada patrón, para comprobar la presencia de bolsas de aire.
 - Bombas centrífugas que aseguren el flujo de trabajo de la instalación entre 0,3 y 600 m³/h.
 - Juntas de gomas o compensadores que aíslan el sistema contra las vibraciones creadas por los motores eléctricos de las bombas.
 - Sistema para extracción de los vapores hacia el exterior.
 - Bandeja para recolectar el líquido que pueda ser derramado al desmontar los flujómetros bajo prueba.
 - Carretilla neumática para el traslado de los equipos desde y hacia el laboratorio de calibración y el local de recepción y entrega.
 - Compresor de aire 2 toneladas.
 - Equipamiento de redes.

▪ **Descripción del funcionamiento del laboratorio**

- La cantidad de líquido que pasa a través del flujómetro bajo prueba se determina por los métodos master meter o gravimétrico.
- El agua almacenada en el tanque de almacenamiento es impulsada por una bomba la cual circula, por la línea de prueba que corresponda, a través del flujómetro bajo prueba. Si la calibración es gravimétrica, el fluido continúa hasta el diverter o válvula desviadora el cual lo dirige al tanque-pesa ubicado sobre celdas de carga. Si la calibración es por el método de master meter el fluido al pasar por el master meter y el flujómetro bajo prueba retorna al tanque de almacenamiento a través del diverter o válvula desviadora.
- Luego de haber realizado una selección de los elementos principales del sistema de medición, de los instrumentos de medición patrones y auxiliares así como de los accesorios de la instalación era necesario encontrar un proveedor de dicha instalación de calibración.

▪ **Condiciones ambientales y de operación**

Condiciones ambientales

- Temperatura ambiente: (20 ± 5) °C
- Presión atmosférica: (990 a 1030) mbar
- Humedad relativa: (60 ± 20) %

Condiciones de operación

- Presión máxima: 6 bar
- Temperatura de operación: (20 ± 5) °C
- Líquido de calibración: Agua tratada

3.2 Diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros ofertada por el proveedor

Tenemos como proveedor a la empresa rusa Rosenergouchet de la cual recibimos una oferta de instalación que ya tienen diseñada y en explotación. Esta instalación se denomina: Instalación de calibración automatizada APU-011/600. En las Tabla 3.1 y 3.2 se muestran las características técnicas de la instalación ofertada por el proveedor, y el resumen de las características técnicas de la instalación propuesta por el INIMET y la ofertada por el proveedor, además en la Fig. 3.5 aparece una vista exterior de la APU-011/600.

Tabla 3.1 Características técnicas de la instalación para la calibración de los flujómetros ofertada por el proveedor

No.	Denominación del parámetro	Valor del parámetro
1	Fluido operante	Agua tratada
2	Temperatura del fluido operante, °C	de 15 a 25
3	Flujo menor, Q_{\min} , m ³ /h	0,025
4	Flujo mayor, Q_{\max} , m ³ /h	600
5	Cantidad de flujómetros patrones (Electromagnéticos)	5
6	Intervalo de medición de los flujómetros $Q_{\min} - Q_{\max}$ (m ³ /h)	DN 2 mm (0,015 a 0,156) DN 6 mm (0,1 a 1,02) DN 15 mm (0,6 a 6,3) DN 50 mm (6,0 a 70) DN 150 mm (60 a 625)
7	Ajuste automático para un flujo programado dentro de los límites, %, no más de	0,5

No.	Denominación del parámetro	Valor del parámetro
8	Diámetro nominal de los MTM del flujo a calibrar (verificar), mm	(15 a 200)
9	Longitud de la línea utilizada en el tramo de medición de la tubería, m, no menos	8,0
10	Cantidad de MTM que pueden ser calibrados (verificados) simultáneamente con las bridas D _n 15, 20, 25, 32, 40, 50, no más con las bridas D _n 50, 80, no más con las bridas D _n 100, no más con las bridas D _n 150, 200, no más con la roscas DN 15, 20, 25, 32, 40, no más	2 2 2 2 2
11	Convertidor de medición de la presión RS -28/0-10 mPa Tenso-convertidores a resistencia (Termoresistencia) TSP-1088	(0 a 600) kPa (-50 a + 500) °C
12	Capacidad del tanque colector o de acumulación, m ³ , no menos	30
13	Cantidad de recipientes pesadores.	3
14	Capacidad de los recipientes pesadores, m ³ , no menos	0,05; 0,5; 6,0
15	Límite máximos de pesaje de los dispositivos de pesaje, kg	DP 1 - 50 DP 2 - 500 DP 3 - 6000

No .	De nominación del parámetro	Valor del parámetro
16	Límite mínimos de pesaje de los dispositivos de pesaje , kg	DP 1- 10 DP 2- 100 DP 3 - 1000
17	Termómetro de laboratorio ТЛ -4 (°C)	0 a 55
18	Manómetros indicadores DM 05100 (kgf/cm ²)	6
19	Densímetro VIP -2MR (kg/m ³)	0 a 2000
20	Presión nominal, mPa, no más	0,4
Con dicio nes de explotación		
21	Alim entación eléctrica – red de corriente alterna - voltaje, V - frecuencia, Hz	de 380 a 460 de 95 a 130 60 ± 1
22	Potencia consumida, kVA, no más	50
23	Dim ensio nes exteriores , m, no más	10,5 x 5 x 4,4
24	Du ración del funcionamiento continuo, horas, no menos de	16
25	Plazo de vida útil, años	12
26	- tem peratura del aire ambiental, °C	(15 a 25)
27	- hum edad relativa del aire, %	(30 a 80)
28	- presión atm osférica, kPa	(84,0 a 106,7)

Tabla 32 Resumen de las características técnicas de la instalación ofertada por el proveedor y la propuesta por el INIMET

INSTALACION	PROVEEDOR	PROPUESTA INIMET
ALCANCE (m ³ /h)	(0,025 a 600)	(0,3 a 600)
DIAMETRO (mm)	(15 a 200)	(15 a 300)
SISTEMA DE PESAJE m ³ (tanque pesa sobre celdas de carga)	(0.05 ,0.5, 6.0) t Resolución celdas de cargas (2, 20, 200) g	(0.3, 10) t Resolución celdas de cargas (10, 100) g Clase II 100 000 divisiones
FLUJÓMETROS (master meter)	Electromagneticos (4) con error de 0,25 %	Electromagnetico (2) con error de 0,1 %
FLUIDO OPERANTE	Agua tratada	Agua tratada
METODO DE CALIBRACION	Gravimetrico- Master meter	Gravimetrico - Master meter



Fig. 3.5 Vista exterior de APU-011/600

▪ **Descripción y requisitos de la edificación para la instalación**

La construcción será tipo nave industrial de una sola planta con una altura de puntal de 6 m en el área o local principal (local 1) y de 5 m en los locales dispuestos en el lateral a todo lo largo de la nave en las cuales se ubicarán equipamiento, áreas sanitarias y para el personal, áreas técnicas de bombas, panel eléctrico, etc. La cubierta debe garantizar reducir al mínimo el calentamiento. Las divisiones internas de los locales del laboratorio pueden ser de paneles ligeros, pero deberán garantizar la seguridad del equipamiento.

El local principal (local 1) tendrá las siguientes especificaciones:

Puerta de acceso de 0,8 m y otra de carga de 1 m de ancho x 2 m de alto para el trasiego de los flujómetros a calibrar.

Sistema de izaje para la elevación y ubicación de los flujómetros en la línea de prueba.

Sistema de ventilación forzada (extractores).

Climatización que asegure una temperatura en el local de calibración de $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Piso recubierto de lozas anti-resbalantes u otro recubrimiento que proporcione seguridad al personal durante las operaciones y sistema de canalización para la eliminación de vertimientos de líquido en el piso.

Se dispondrá de una toma de agua, dentro del local principal, destinada a la limpieza del mismo y del equipamiento propio de la instalación. Además se incluirá una toma de agua independiente para el sistema contra incendios.

La iluminación cumplirá con los requisitos necesarios que garanticen que sea la adecuada. Dispondrá de un sistema contra incendios, pararrayos y aterramiento apropiado al equipamiento instalado.

Esta instalación tendrá comunicación telefónica con el exterior e intercomunicador para el enlace con las demás áreas de la misma.

Los locales de servicio y técnicos tendrán las dimensiones adecuadas para los propósitos, equipamiento y mobiliario que se describen a continuación:

- ❖ Local 2: La oficina del Jefe de laboratorio estará equipada con buró y juego de mesa con 4 sillas debe contar con un equipo de cómputo y archivo metálico. Temperatura ambiente de (20 a 25) °C.
- ❖ Local 3: Local de Dirección Automática de la instalación. En éste se ubicará el puesto de dirección de la instalación y el panel de control diseñado para el mando totalmente automático del sistema. Contará con una mesa de trabajo con 4 sillas, estantes para documentación y computadora. La pared que da a la instalación debe ser de vidrio o plástico transparente de forma tal que se tenga control visual del área de medición. Temperatura ambiente de (20 a 25) °C.
- ❖ Local 4: Dos baños, cada uno con una instalación sanitaria, para mujeres y hombres, respectivamente.
- ❖ Local 5: Local técnico. Será el local de trabajo de los técnicos que ejecutan el servicio en el cual se conservará la documentación técnica y reportes de los servicios. Tendrá un archivo, dos burós con sus sillas y una computadora. Dispondrá de espacio para la conservación de instrumentos y de equipamiento auxiliar.
- ❖ Local 6: Local para pizarras eléctricas. Se ubicará el equipamiento de dirección eléctrica.
- ❖ Local 7: Local de bombas para la instalación de las bombas centrífugas y filtros a la salida de las mismas.
- ❖ Local 8: Recepción y entrega. Se utilizará para recepcionar los flujómetros a calibrar/ verificar y para almacenarlos hasta que se devuelvan a los clientes. Dispondrá de una carretilla neumática para el traslado de los equipos desde y hacia el laboratorio de calibración y el área de recepción y entrega.

3.3 Resultados de la validación del diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros

Antes de adquirir la instalación APU-011/600 un paso necesario lo constituye el diagnóstico metrológico a la instrumentación de la misma utilizando para esto la Norma Cubana NC Guía 857-1: 2011 la cual establece las disposiciones generales para la organización y ejecución del diagnóstico metrológico a la documentación tecnológica y de proyecto de las nuevas inversiones industriales, teniendo en cuenta la etapa del proceso inversionista en que se encuentre. De manera que cuando sea adquirida, cuente con los recursos materiales e instrumentos patrones que garanticen la trazabilidad de sus mediciones.

El análisis de la documentación técnica de la instalación permitió elaborar la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Levantamiento de necesidades metroológicas de la inversión

No. de orden	Denominación del equipo de medición/ Magnitud (variable) a medir	Cantidad de equipos de medición previstos	Ubicación/ Lugar/ Proceso	Características metroológicas				Control Metroológico que requiere	Posibilidades de			
				Valor de medición/ Resolución	Error máximo permisible/ Tolerancia	Rango de medición	Otras de interés metroológico		CV	Reposición	Reparación	Mantenimiento
1	Termómetro de laboratorio TJI -4	1	Sistema de la línea de trabajo. (SL1) Medir la temperatura de agua	0,1°C	---	(0 a 5) °C	---	Calibración	NO	SI	NO	SI
2	Termo-conversor de resistencia TC11088, 000	1	Sistema de la línea de trabajo. (SL1) Medir la temperatura de agua	---	Clase A	(-50 a +50) °C	---	Calibración	SI	SI	NO	SI
3	Manómetro indicador del modelo DM05100	2	Sistema de la línea de trabajo. (SL1) Control visual de la presión	---	Clase de precisión 1,0	Límite superior de medición 6 kg/cm ²	---	Calibración	SI	SI	NO	SI

Alcance y sistema de medición de una instalación para la calibración de flujómetros

No. de orden	Denominación del equipo de medición/ Magnitud (variable) a medir	Cantidad de equipos de medición previstos	Ubicación/ Lugar/ Proceso	Características y metrologías				Control Metrologico que requiere	Posibilidades de			
				Valor de medición/ Resolución	Error máximo permisible/ Tolerancia	Rango de medición	Otras de interés metrologico		CV	Reposición	Reparación	Mantenimiento
4	Convertidor de medición de la presión PC-28/ 0-10 mPa ABS PDM 000 LK «Aplsens» (Transductor)	1	Esta destinado para medir la presión en los SRT (Sistema de los patrones de trabajo) y SLT	-----	Límites de error relativo base de medida $\pm 0,25\%$	(0 a 600) kPa	-----	Calibración	SI	SI	NO	SI
5	Densímetro de líquido WIP-2MP	1	Tramo de medición. Medir la densidad del agua	-----	0,1 kgm ³	(0 a 2000) kgm ³	-----	Calibración	SI	SI	NO	SI

Alcance y sistema de medición de una instalación para la calibración de flujómetros

No. de orden	Denominación del equipo de medición/ Magnitud (variable) a medir	Cantidad de equipos de medición previstos	Ubicación/ Lugar/ Proceso	Características metrologicas				Control Metrologico que requiere	Posibilidades de			
				Valor de división/ Resolución	Error máximo permisible/ Tolerancia	Rango de medición	Otras de interés metrologico		CV	Reposición	Reparación	Mantenimiento
6	Flujómetros contadores electromagnéticos	5	Sistemas de los patrones de trabajo (SRT) Medición del flujo	---	Error relativo permitido $\pm 0,25\%$	(0,015 a 0,15) m ³ /h (0,1 a 102) m ³ /h (0,6 a 6,3) m ³ /h (60 a 70) m ³ /h (60 a 25) m ³ /h	---	Calibración	SI	SI	NO	SI

Alcance y sistema de medición de una instalación para la calibración de flujómetros

No. de orden	Denominación del equipo de medición/ Magnitud (variable) a medir	Cantidad de equipos de medición previstos	Ubicación/ Lugar/ Proceso	Características y metodológicas				Control Metroológico que requiere	Posibilidades de			
				Valor de división/ Resolución	Error máximo permisible/ Tolerancia	Rango de medición	Otras de interés metodológico		CV	Reposición	Reparación	Mantenimiento
7	Balanzas electrónicas	3	Sistemas de pesaje de los recipientes (SPR), Pesaje de agua dentro de los recipientes de pesaje	200 g 20 g 10 g	Límite de error relativo básico de la medición $\pm 0.03\%$	Límite máximo del pesaje de 6,000 kg Límite máximo del pesaje de 500 kg Límite máximo del pesaje de 50 kg	La información sobre el valor obtenido del peso se transmite al equipo terminal por medio de convertidores de carga secundarios D40 fabricados por la firma. Bianchi	Calibración	SI	SI	NO	SI

Alcance y sistema de medición de una instalación para la calibración de flujómetros

No. de orden	Denominación del equipo de medición/ Magnitud (variable) a medir	Cantidad de equipos de medición previstos	Ubicación/ Lugar/ Proceso	Características y metrologías				Control Metrológico que requiere	Posibilidades de			
				Valor de medición/ Resolución	Error máximo permisible/ Tolerancia	Rango de medición	Otras de interés metrológico		CV	Reposición	Reparación	Mantenimiento
8	Controladores de los desviadores KS-011P	3	Sistema de pesaje de los recipientes (SPR). Control de estado de los desviadores de los tanques de acumulación (de pesaje).	---	La diferencia del tiempo de conmutación por las direcciones no más 2,5ms	(10 a 60) m ³ /h	---	---	---	SI	NO	SI

Alcance y sistema de medición de una instalación para la calibración de flujómetros

No. de orden	Denominación del equipo de medición/ Magnitud (variable) a medir	Cantidad de equipos de medición previstos	Ubicación/ Lugar/ Proceso	Características y metrologías				Control Metrologico que requiere	Posibilidades de			
				Valor de división/ Resolución	Error máximo permisible/ Tolerancia	Rango de medición	Otras de interés metrologico		CV	Reposición	Reparación	Mantenimiento
9	Sensor convertidor de medición de la humedad y temperatura ДВ21ГАН.К "Микроп", Rusia	1	Esta destinado para determinar las condiciones ambientales de calibración/verificación.	---	Error básico de medición absoluta de la humedad relativa en condiciones de cambio de la temperatura en 10°C $\pm 1\%$ Error básico de medición absoluta de la temperatura en el rango de $(0\text{ a }60)^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,5\%$	Rango de medición de la humedad relativa (0 a 98)% rango de medición de la temperatura 0°C a 60°C	---	Calibración	SI	SI	NO	SI

Alcance y sistema de medición de una instalación para la calibración de flujómetros

No. de orden	Denominación del equipo de medición/ Magnitud (variable) a medir	Cantidad de equipos de medición previstos	Ubicación/ Lugar/ Proceso	Características técnicas y metrologías				Control Metrologico que requiere	Posibilidades de			
				Valor de división/ Resolución	Error máximo permisible/ Tolerancia	Rango de medición	Otras de interés metrologico		CV	Reposición	Reparación	Mantenimiento
10	Contadores de los contadores KS-011	5	Están destinados para contar la cantidad de pulsos en la salida de los contadores su recado (conversion) en el flujo volumétrico y la emisión de datos sobre el flujo volumétrico al sistema de recado de datos	-	Error básico de medición absoluta ± 1 impulso	0,01 Hz a 1600 Hz			---	SI	NO	SI

A partir de esta tabla se obtienen los siguientes resultados:

- Balanza de 10 000 kg, la propuesta por el proveedor es de 6 000 kg, la cual no cubre el rango de medición para la calibración de todos los flujómetros existentes en el país.
- El termómetro de laboratorio T1 -4, no puede calibrarse en nuestro Instituto pues no se cuenta con los medios necesarios.
- De los controladores de los desviadores KS-011P y los controladores de los contadores KS-011 no se pudo encontrar referencia en Internet, desconociéndose la posibilidad de asegurar su trazabilidad metrológica.

Después de obtener estos resultados y comprobar que la instalación diseñada cumple con los requisitos particulares para el uso específico previsto, se logró:

- Presentar el diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros al CCT del INIMET, con el objetivo de validarlo.
- Obtener el Aval del CCT del Instituto.
- Incorporar el diseño a la tarea técnica y elaborar la propuesta de proyección de los diagramas de trazabilidad metrológica del Laboratorio de Volumen del INIMET referido al Flujo de Agua, que aparece en la Fig. 3.6.

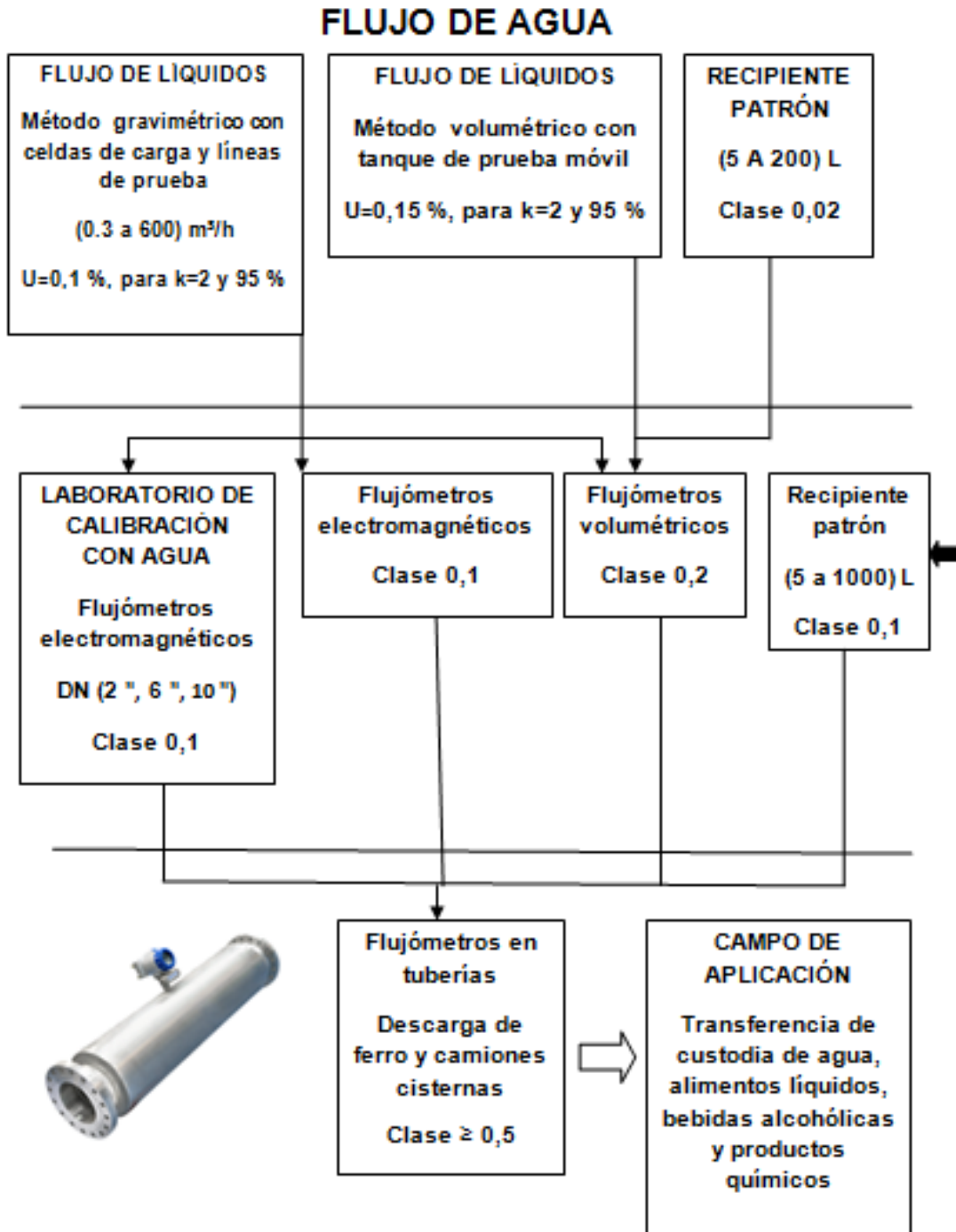


Fig. 3.6 Propuesta de diagrama de trazabilidad metrológica del Laboratorio de Volumen del INIMET referido al Flujo de Agua

CONCLUSIONES

- Con el diagnóstico para el diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo, se logró seleccionar, definir e identificar las características metrológicas de todos los instrumentos de medición patrones y auxiliares que integrarán la misma, lo que contribuirá a garantizar la trazabilidad metrológica de estos flujómetros en el país.
- El levantamiento de necesidades metrológicas de la inversión de acuerdo con la Norma Cubana NC Guía 857-1: 2011 aprobada en el país, permitió establecer el alcance de la instalación para la calibración de los flujómetros, siendo esto el primer paso para concretar el diseño de esta instalación.
- Se seleccionaron los métodos de medición, Gravimétrico y Máster Meter, los regímenes de trabajo, start stop estático y start-stop dinámico, utilizados ampliamente para este tipo de instalación, con lo cual se logrará dar aseguramiento metrológico a los flujómetros para líquidos diferentes de combustible. Esto permitirá al Laboratorio de Volumen del INIMET garantizar las mediciones de flujo en el país en correspondencia con su condición de Instituto Nacional de Metrología de la República de Cuba.
- La propuesta de esquema de trazabilidad metrológica del Laboratorio de Volumen del INIMET, constituye un elemento que repercute en la confianza y credibilidad del resultado de las mediciones de flujo que se realizarán en el futuro con la instalación para la calibración de los flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo, con un mejor nivel de exactitud y de incertidumbre para estas mediciones.

RECOMENDACIONES

- Generalizar al resto de los laboratorios del SENAMET, el conocimiento referido al diseño de la instalación para la calibración de los flujómetros utilizando agua como líquido de trabajo, así como la propuesta de esquema de trazabilidad metrológica para el país.
- Completar las acciones de capacitación a todos los especialistas y técnicos del Laboratorio de Volumen del INIMET, referido a la asimilación de la nueva tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Stacy Philip S, Best Practices For Flow Meter Calibration, Water Online 18 Abril 2016, [en línea] Disponible en: <https://www.wateronline.com/doc/best-practices-for-flow-meter-calibration-0001>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [2]. Del Castillo Pinto Laureano, Tratamiento Legislativo de las Aguas, Seminario Subregional Sudamérica, [en línea] Disponible en: <http://parlatino.org/pdf/temas-especiales/pnuma/seminario/tratamiento-legislativo-agua.pdf>, Consultado el 6 julio de 2017.
- [3]. Anónimo, Medición de masa, volumen y densidad, [en línea] Disponible en: http://www.cursosinea.conevyt.org.mx/cursos/cnaturales_v2/interface/main/recurso/s/antologia/cnant_3_03.htm, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [4]. Anónimo, Hoja técnica hipoclorito de sodio 7,5 % Min Aquaquimi, [en línea] Disponible en: <http://www.aquaquimi.com/PDF/hoja%20tecnica/hoja%20tecnica%20cloro%20liquido.pdf>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [5]. Anónimo, diquimex, [en línea] Disponible en: <https://diquimex.mx/producto/cloruro-de-metileno-270kg/>, <https://diquimex.mx/categoria-producto/clorados/cloruro-de-metileno/>, <https://diquimex.mx/wp-content/uploads/2018/01/EP0062-CLORURO-DE-METILENO.pdf>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [6]. Anónimo, QUIMPAC, [en línea] Disponible en: http://www.quimpac.com.ec/wp-content/uploads/mstds/HS_21_ACIDO_NITRICO.pdf, http://www.quimpac.com.ec/wp-content/uploads/fichas-tecnicas/FT_21_%C3%81cido%20N%C3%ADtrico.pdf, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [7]. Paton Richard, Calibration and Standards in Flow Measurement, National Engineering Laboratory, Scotland, UK, [en línea] Disponible en: <https://docplayer.net/8588962-191-calibration-and-standards-in-flow-measurement-richard-paton-national-engineering-laboratory-scotland-uk-1-general-principles.html>, Consultado el 12 septiembre de 2017.

-
- [8].** Pöschel Walter, Engel Rainer, El concepto de un nuevo patrón primario para medición de flujo de líquido en PTB Braunschweig. 9th Conferencia Internacional sobre Medición de Flujo FLOMEKO'98, 15 al 17 de junio de 1998 - Lund, Suecia, [en línea] Disponible en: https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_1/1.5_fluessigkeite n/1.5.2/flo m e _ 9 8 .p d f, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [9].** Anónimo, Calibraciones de mediciones de flujo, NIST, [en línea] Disponible en: <https://www.nist.gov/calibrations/flow-measurements-calibrations>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [10].** Sejong Chun, Byung-Ro Yoon, Yong-Bong Lee, Hae-Man Choi, Desarrollo del sistema patrón de flujo de agua para la calibración flujómetros hasta 2000 m³/h en KRIS, FLOMEKO 2016, Sydney, Australia, 26 al 29 de septiembre 2016, [en línea] Disponible en: http://metrology.asn.au/flomeko2016/papers/57a197d188531-Wate r f l o w s _ K R I S S .p d f, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [11].** Loza Guerrero Dario Alejandro, La Metrología de Flujo de Líquidos en México, CENAM, XV SEMINARIO Y II ENCUENTRO Nacionales de Metrología y Normalización, Para la Industria y la Educación, [en línea] Disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones/mfl.pdf>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [12].** Anónimo, Web National Institute of Advance Industrial Science and Technology, National Metrology Institute of Japan (NMIJ), Mechanical Standards and Flow Standards, Flow Measurement, [en línea] Disponible en: <https://w w w .n m i j .j p /e n g l i s h /o r g /l a b /3/>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [13].** Endress+Hauser, Precision for the real world Our calibration facilities at your service, We calibrate your flowmeters on the world's most advanced rigs – in our factory or onsite, Flow measurement as a core Competence, [en línea] Disponible en: https://www.nuovaelva.it/docs/Endress%20-%20Hauser/documentazione/files/CP010DEN_0309_0v8405tz.pdf, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [14].** ALDEN, Solving Flow Problems Since 1894, [en línea] Disponible en: <https://w w w .a l d e n l a b .c o m /A b o u t - U s / H i s t o r y>, Consultado el 12 septiembre de 2017.

- [15]. KRONHE, KROHNE Group – Company History, [en línea] Disponible en: <https://krohne.com/en/company/company-history/>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [16]. Yoder Jesse, Calibration & Recalibration, Techniques & Tactics for Ensuring the Reliability of Your Flow Measurements, 18 septiembre 2015, [en línea] Disponible en: http://www.flowresearch.com/articles/PDF_Files/2015/FC-0915-JesseYoder.pdf, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [17]. Yoder Jesse, CONSIDERING Flowmeter Calibration, A look at the labs that ensure the consistency and accuracy of critical flow measurements, Julio 2015, [en línea] Disponible en: http://www.flowresearch.com/articles/PDF_Files/2015/FC-0915-JesseYoder.pdf, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [18]. Anónimo, WEB CEESI, FLOW METER CALIBRATIONS, Our History, Our Staff, Quality Assurance, Traceability, Strategic Alliances, [en línea] Disponible en: <http://www.ceesi.com/about-us>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [19]. Trigas A., Prácticas recomendadas para el uso y calibración de flujómetro, TrigasFI GmbH, diciembre 2008, [en línea] Disponible en: <http://www.trigasfi.de/files/doc/Calibration%20Frequency%20EN.pdf>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [20]. OIML V 1 International vocabulary of terms in legal metrology. Edition 2013.
- [21]. Anónimo, CUBADEBATE ¿Las guerras del futuro serán por el agua?, 13 junio de 2015, [en línea] Disponible en: http://www.cubadebate.cu/noticias/2015/06/13/las-guerras-del-futuro-seran-por-el-agua/#.W_hF0x-las, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [22]. Manual de la Calidad del INIMET, Revisión 4, 2016.
- [23]. Céspedes Hernández Lauren, Metrocontadores de agua, El metraje, una clave para la sostenibilidad del agua, Periódico GRANMA, 13 noviembre de 2016, [en línea] Disponible en: <http://www.granma.cu/cuba/2016-11-13/el-metraje-una-clave-para-la-sostenibilidad-del-agua-13-11-2016-21-11-41?page=3>, Consultado el 12 septiembre de 2017.
- [24]. Carrobello Caridad, Martínez Claudia, AGUA: Nadar contra el despilfarro, Revista Bohemia, 17 enero de 2017, [en línea] Disponible en:

<http://bohemia.cu/en-cuba/2017/01/agua-nadar-contra-el-despilfarro/>, Consultado
el 12 septiembre de 2017.

[25]. Anónimo, Oficina Nacional de Normalización, Infraestructura Nacional de la
Calidad, [en línea] Disponible en:
<http://www.citma.gob.cu/Documentos/ONN%20CITMA%20.pdf>, Consultado el 12
septiembre de 2017.

[26]. Franco J , Hugues A, Pérez F, Mendoza R, Tamayo J, Hernández M., León
J, Hernández J , Romero J.L, Pascual P, Turiño E , Torras O, García O, Brito
Y, Sardaña A; García M, Laboratorio de Calibración de Flujómetros para
Productos Claros de Cupet, 18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura.
VII Congreso Internacional de Telemática y Comunicaciones CITTEL 2016 Cuba
2016, [en línea] Disponible en:
[https://www.researchgate.net/publication/329626441_Laboratorio_de_Calibracion_
de_CUPET_2017](https://www.researchgate.net/publication/329626441_Laboratorio_de_Calibracion_de_CUPET_2017).

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- OIML R49-1, Contadores de agua destinados a la medición de agua potable fría y agua caliente Parte 1: Requisitos metroológicos y técnicos, 2013.
- OIML R 117, Sistemas de medida de líquidos distintos del agua, 2010.
- ISO 4185, Medición del flujo de líquidos en conductos cerrados. Método de Pesaje (Measurement liquid flow in closed conduits Weighing method), 1980.
- ISO 10790, Measurement of fluid flow in closed conduits-Guidance to the selection installation and use of Coriolis meters (mass, flow, density and volume flow measurements, 2000.
- NC OIML R 76-1, Instrumentos de pesar no automáticos. Parte 1: Requerimientos metroológicos y técnicos. Ensayos, 1999.
- Decreto-Ley 183 de la Metrología, Gaceta Oficial No. 17 Ordinaria, Cuba, Febrero 1998.
- DG 01, Instrumentos de medición sujetos a verificación y los campos de aplicación donde serán utilizados, 3. Edición, Septiembre 2014.
- DG 10, Política de Trazabilidad Metroológica, 2013.
- NC ISO/IEC 17025, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, ICS: 03.120.20, 3. Edición, Diciembre 2017.
- Franco J, Turiño E, Mendoza R, Pérez F, Hugues A, Tamayo J, Estévez A, Hernández M, León J A, Hernández J, I. Romero J L, Pascual P, Hernández J M, Puesta en Marcha del Laboratorio de Calibración de Flujómetros para Productos Claros de CUPET (LCPC), Boletín Científico Técnico INIMET, 2017, (2)..
- Espinosa G, Franco J I, Peón M, Cabrera R, Torras O, Acosta M., APUNTES METROLÓGICOS SOBRE LOS METROS CONTADORES DE CORIOLIS, Boletín Científico Técnico INIMET, 2010, (2).

A N E X O S

ANEXO A

Instalación de calibración PTB (Alemania)



ANEXO B

Instalación de calibración NIST (Estados Unidos)



ANEXO C

Instalación de calibración KRIS S (Corea)



ANEXO D

Instalación de calibración CENAM (México)



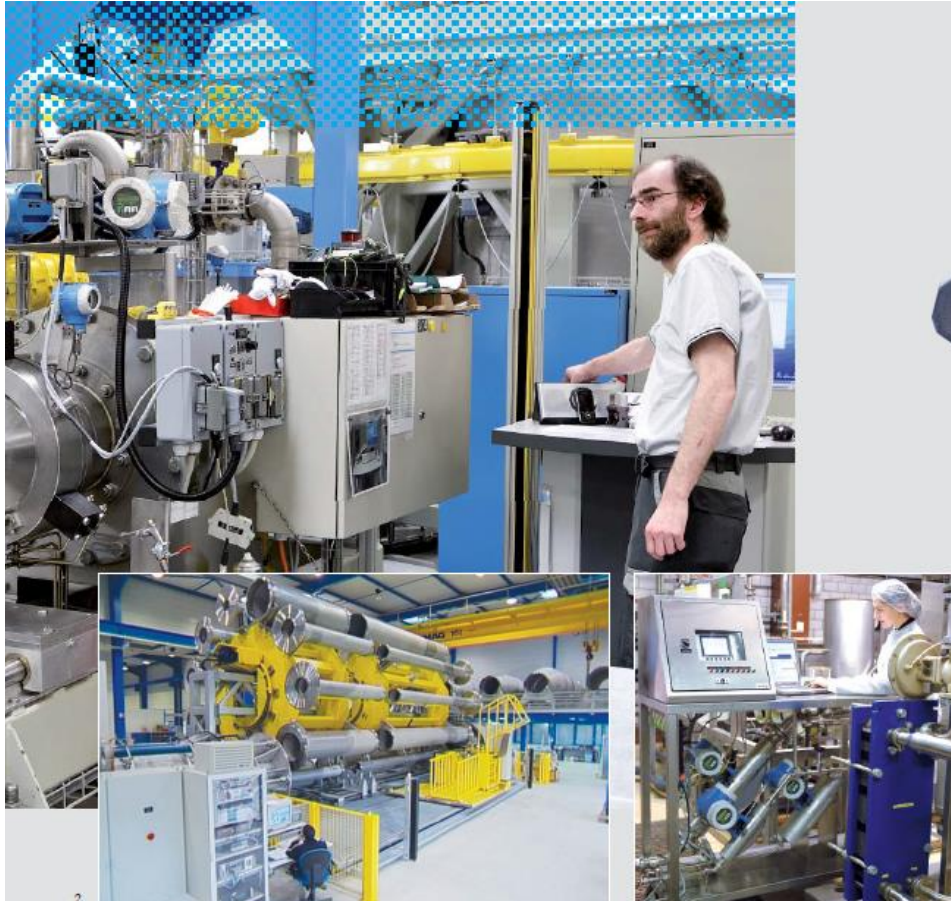
ANEXO E

Instalación de calibración NM IJ (Japón)



ANEXO F

Instalación de calibración Endress + Hauser (Francia - Suiza)



ANEXO G

Instalación de calibración KROHNE

