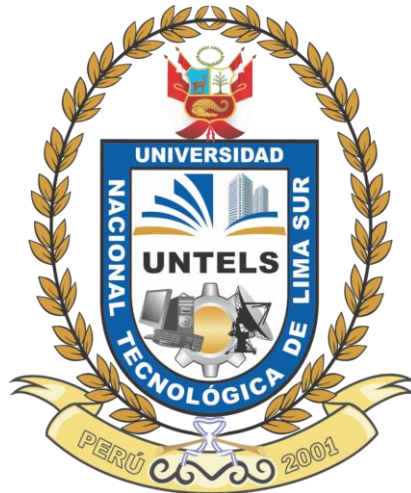


**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y**  
**TELECOMUNICACIONES**



**“PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE FLUJO DE GASES, EN UN BANCO AUTOMATIZADO DE TOBERAS BAJO LA NORMA ISO 17025”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de  
**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

ROMERO HUAROTO, PEDRO

**ASESOR**

Mugruza Vassallo Carlos Andrés

**Villa El Salvador**

**2021**

### **DEDICATORIA:**

Este trabajo está dedicado para mis hijos Mia y Diego cada gesto, cada sonrisa y sus muestras de cariño son la fuente de energía para poder seguir adelante para poder cumplir todas mis metas.

A mi pareja Catherine Luna Cardich quien me motivó y me impulsó cada momento para lograr mis objetivos.

A mis Padres Pedro y Nancy que siempre me apoyaron en todo momento en los momentos más difíciles.

A mi Hermana Jaqueline y mi Cuñado Antonio por ser mis ejemplos de superación y a mis sobrinos Antuaneth, Antonella y Sebastián por confiar en su tío.

**AGRADECIMIENTO:**

Un especial agradecimiento a mi asesor Carlos Mugruza, por su apoyo en todo el proceso de mi trabajo de sustentación, gracias por la guía, las observaciones y recomendaciones, siendo claves en todo el proceso de la tesina.

Al Ingeniero Herzán Lino y al Señor Oscar Apaza por confiar en mi trabajo y permitirme desarrollarme profesionalmente en METROIL.

## INDICE

Resumen .....	IX
Introducción.....	X
<b>Capítulo I: Aspectos Generales .....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto .....	1
1.2 Delimitación del Proyecto.....	2
1.2.1 Temporal .....	2
1.2.2 Espacial .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
<b>Capítulo II: Marco Teórico .....</b>	<b>3</b>
2.1 Antecedentes .....	3
2.1.1 Antecedentes Nacionales .....	3
2.1.2 Antecedentes Internacionales.....	5
2.2 Bases Teórica .....	7
2.2.1 Calibración .....	7
2.2.2 Medición Electrónica .....	8
2.2.2.1 Medición de Gas Natural .....	8
2.2.2.2 Medidores Tipo Diafragma .....	8
2.2.2.3 Medidores Tipo Rotativo .....	10
2.2.3 Banco de Toberas .....	10
2.2.4 Toberas de Flujo Crítico.....	11
2.2.5 ISO/IEC 17025 .....	12
2.2.6 Modelo matemático .....	14
2.3 Definición de Términos .....	26
<b>Capítulo II: Desarrollo del Trabajo Profesional.....</b>	<b>28</b>
3. Descripción de la tesina.....	28
3.1 Determinación y análisis del problema .....	29

3.2 Modelo de Solución Propuesto .....	32
3.2.1 Descripción del proyecto para la realización del procedimiento.....	32
3.2.1.1 Diagrama del Flujo de la realización del procedimiento.....	33
3.2.2 Estudio y Análisis del Banco de Toberas, Hardware y Software.....	33
3.2.2.1 Hardware del banco de Toberas.....	33
3.2.2.2 Software del banco de Toberas.....	37
3.2.3 Análisis de los Equipos del Banco de toberas.....	42
3.2.4 Modelo matemático del procedimiento.....	46
3.2.4.1 Diagrama del desarrollo de la validación matemática.....	46
3.2.4.2 Condiciones Iniciales.....	47
3.2.4.3 Validación matemática del error .....	49
3.2.4.4 Validación del cálculo de la incertidumbre.....	57
3.3 Resultados .....	59
3.3.1 Procedimiento de Calibración medición de flujo de gases Lima – Perú.....	59
3.3.2 Requisitos técnicos según la norma metrológica peruana e INACAL.....	61
3.3.3 Validación del procedimiento cumpliendo el tercio de la incertidumbre.....	64
3.3.4 Alcance de Medición del procedimiento de calibración de flujo de gases...	67
3.3.5 Validación del Procedimiento Gerencia Técnica .....	68
<b>Conclusiones</b> .....	69
<b>Recomendaciones</b> .....	70
<b>Bibliografía</b> .....	72
<b>Anexos</b> .....	74

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Medidor Tipo Diafragma.....	9
Figura 2 Funcionamiento de medidor Tipo Diafragma.....	9
Figura 3 Funcionamiento de medidor Rotativo mediante giro de engranajes...	10
Figura 4 Banco de toberas automatizado de 5 canales B-sonic.....	11
Figura 5 Tobera de flujo Crítico, mide flujo másico de gases.....	12
Figura 6 Diagrama de las fases del desarrollo del procedimiento.....	33
Figura 7 Diagrama del Banco de Toberas.....	34
Figura 8 Banco de Toberas modelo MJ2210-12.....	35
Figura 9 Toma de datos por procesamiento de Imagen.....	36
Figura 10 Login del Software – Test Management.....	37
Figura 11 Ventana Principal de Inicio -Test Management .....	38
Figura 12 Interfaz de Comunicación – Test Management.....	39
Figura 13 Ventana de Configuración de las características de los equipos....	40
Figura 14 Esquema del Banco de toberas – Test Management.....	41
Figura 15 Diagrama de Fases del desarrollo del modelo matemático.....	47
Figura 16 Participante de la Inter comparación de medidores de gases.....	68

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Valores de corrección de flujo másico con temperatura y presión constante	17
Tabla 2: Ejemplo aportantes de incertidumbre procedimiento ME-003.....	22
Tabla 3: Leyes y Normas que prueben la masificación del gas Natural.....	29
Tabla 4: Componentes del banco de toberas .....	42
Tabla 5: Resultados de calibración de las toberas e incertidumbre 0,2%.....	43
Tabla 6: Valores de Toberas.....	43
Tabla 7: Requisitos mínimos de los instrumentos usados para la calibración.....	45
Tabla 8: Recomendación de periodos de calibración.....	46
Tabla 9: Condiciones uniformes durante la calibración.....	48
Tabla 10: Datos del certificado de la Calibración de las toberas.....	49
Tabla 11: Resultados Obtenidos de la medición mediante el banco de toberas 1 ...	50
Tabla 12: Resultados Obtenidos de la medición mediante el banco de toberas 2....	50
Tabla 13: Coeficiente de la ecuación del aire seco .....	54
Tabla 14: Cálculo de la incertidumbre de los aportantes de la medición.....	58
Tabla 15: Procedimiento de Verificación Empresa Contraste E.I.R.L.....	60
Tabla 16: Procedimiento de Calibración de equipos de medición de gases METROIL	60
Tabla 17: Conexiones de Calidda de servicios en los últimos años.....	61
Tabla 18: Resultados de Calibración del Transmisor de Presión Marca ANGYU.....	61
Tabla 19: Resultados de Calibración del Transmisor de Presión Marca JUMO.....	62
Tabla 20: Resultados de Calibración del Transmisor de Temperatura Marca JUMO...	62
Tabla 21: Resultados de Calibración del Higrómetro Marca VECTOR.....	63
Tabla 22: Resultado del Oscilador de Cristal de Cuarzo.....	63
Tabla 23: Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351180109009..	64
Tabla 24: Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351180109017..	64
Tabla 25: Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351180109024..	65
Tabla 26: Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351907890116..	65
Tabla 27: Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351907890118.	65

Tabla 28: Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351907890123.. 66

Tabla 29: Medidores Homologados por INACAL..... 67



## RESUMEN

Hoy en día se busca la masificación del uso de gas natural a nivel residencial e industrial, hasta ahora la empresa Calidda ha realizado un total de 987,993 conexiones residencial en el año 2020, las normativa NMP-016 exige una verificación o calibración inicial de todo equipo de medición electrónica de flujo instalado, para el cobro de tarifas justas, pero al no contar laboratorios acreditado en nuestro país para realizar este tipo de calibraciones, origina un des-aceleramiento de la masificación de gas natural. La presente propuesta tiene como propósito diseñar un procedimiento de calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases, en un banco automatizado de toberas bajo la normativa ISO/IEC 17025, con el objetivo de establecer los requisitos y directrices para la correcta calibración de la medición electrónica de flujo de gases.

En base a las normativas y procedimientos de calibración de equipos de medición gases en la ciudad de lima se identifica NMP-0016, PV-008 y la PV-013, donde se identificaron los requerimientos técnicos para el desarrollo de un procedimiento, estos requerimientos se usaron como referencia para el diseño del procedimiento de calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases. Para luego realizar una validación matemática del procedimiento para la calibración de 12 equipos de medición electrónica de flujo de gases, donde se obtuvo una incertidumbre mínima de 0,45% ISO(sic) 17025 para reportar en un certificado de calibración bajo la norma, luego se definió el alcance de 0.016 m<sup>3</sup>h a 6.5 m<sup>3</sup>/h para el procedimiento de calibración de equipos de medición de flujo de gases acorde al mercado peruano. Finalmente, el procedimiento fue aprobado por la Gerencia Técnica de la empresa para su próxima acreditación.

Los resultados conseguidos de 30 pruebas de calibración de medidores de medición electrónica de flujo de gases, se obtuvo que los errores medidos se encuentran dentro de los Errores Máximo Permitido (EMP), así mismo, la incertidumbre obtenida es 0,45 % (es una incertidumbre volumétrica que considera la presión y temperatura) cumpliendo así la Norma Metrológica Peruana NMP-016 y la Norma ISO 17025.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio trata de enfocarse en la falta de un procedimiento para la calibración de medidores de flujo de gases, bajo la norma ISO 17025 en Lima – Perú, Según la OIML R 137 1&2 (2012) marca las pautas y recomendaciones para el inicio de las mediciones para la verificación de medidores de gases, así mismo, la Norma Metrológica Peruana NMP-0016 (2012) define todos los pasos a seguir para que cualquier entidad pueda acreditarse bajo la norma ISO 17020 en la verificaciones inicial y posterior en medidores de gases.

Una de las grandes diferencias cuando se trabaja con la norma ISO 17025 para las calibraciones de medidores de medición electrónica de flujo de gases, es el estudio más exhaustivos en el proceso de la calibración, se debe trabajar con métodos normalizados y procedimientos acreditados desarrollados por la misma empresa, así mismo, se tiene que realizar estudios de aseguramientos de validación de resultados para obtener datos confiables en el tiempo, también se reportar los errores e incertidumbre del equipo en un certificado de calibración, a diferencia cuando se trabaja bajo la norma ISO 17020 para la verificación inicial y posterior de medidores de gases donde no hay el cuidado estricto de los resultados dado que emiten un certificado de conformidad del funcionamiento del equipo.

En la norma ISO 17020 cuenta ciertas limitantes al momento a realizar pruebas de verificación inicial o posterior, puesto que la norma contempla 3 mediciones de caudal  $Q_{max}$ ,  $0,2 Q_{max}$  y  $Q_{min}$ , a diferencia de un procedimiento de calibración acreditado bajo la norma ISO 17025 donde se puede realizar múltiples mediciones de caudal, en todo el alcance del medidor de medición electrónica de flujo gases para tener certeza y confianza de los resultados del equipo.

INACAL (Instituto Nacional de la Calidad) ha otorgado la acreditación bajo la norma ISO 17020 (Organismo de Inspección) y NMP-016 a una sola empresa en la para la verificación inicial de medidores de gases donde el alcance acreditado es 0,016 m<sup>3</sup>/h a 2,5 m<sup>3</sup>//h el cual es muy reducido, limitando a brindar el servicio a un solo tipo de medidores, por lo tanto, afecta a un sin número de empresas importadoras de medidores de gases, por lo cual muchos medidores con un mayor alcance de trabajo quedarían fuera de una verificación inicial en el Perú.

Hoy en día ningún laboratorio está acreditado bajo la norma ISO 17025 por el INACAL, para brindar servicio calibración de equipos de medición de flujo de gases, así mismo, tampoco existe un procedimiento de calibración para estos equipos, por eso una de las motivaciones más importante es proponer un procedimiento que marque las directrices para la calibración de los medidores de gases abarcando un mayor alcance.

## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 CONTEXTO**

Según Hugo Iván Silva Villanueva. (2017) en tu tesis “Plan de negocios para la contratación de medidores de gas Natural en lima y Callao” y INACAL-DA (Instituto Nacional de calidad) área de acreditación, En el Perú solo existe una empresa acreditada bajo la norma 17020 para la verificación inicial de medidores tipo de gas contando con un alcance 0.016 m<sup>3</sup>/h a 2.5 m<sup>3</sup>/h reducido de caudal, imposibilitando la verificación de medidores de mayor caudal para las instalaciones industriales.

En la empresa Metrología e Ingeniería Lino S.A.C es una empresa acreditada bajo la norma ISO 17025 y ISO 17020 por INACAL-DA (Dirección de acreditación) contando con 37 procedimientos acreditados, Metroil S.A.C cuenta con el área de investigación para la creación de procedimientos para equipos o instrumentos que aún no cuenten con una normativa para su calibración, de esta manera nace la iniciativa de la propuesta de realizar un procedimiento de calibración para equipos de medición electrónica de flujo de gases

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo marcar las pautas y directrices para poder realizar el servicio calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases en base la normativa ISO 17025 abarcando un mayor alcance de 0.016 m<sup>3</sup>/h a 6.5 m<sup>3</sup>/h con la finalidad de poder brindar la calibración a cualquier tipo de medidores de flujo de gases tanto domiciliarios como industriales

Una de las grandes ventajas de desarrollar un procedimiento de calibración para los equipos de medición de flujo. Se puede realizar múltiples mediciones de caudal en todo el alcance del medidor, también se puede conocer el tiempo de vida útil del equipo en base a una calibración histórica y ver su deriva en el tiempo

## **1.2 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Temporal**

El procedimiento para la calibración de equipos de medidores electrónicos de flujo de gases, será trabajado bajo la norma internacional ISO 17025 se realizará desde el 25 de agosto al 3 de diciembre del presente año 2021,

### **1.2.2 Espacial**

La propuesta para el desarrollo del procedimiento se realizará en la empresa METROIL S.A.C ubicada en Lima.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un procedimiento para la calibración de equipos medición electrónica de flujo de gases, en un banco de toberas automatizado bajo normativa internacional ISO 17025.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar situación de los procedimientos de calibración de equipos medición electrónica de flujo de gases en la ciudad de Lima.
- Identificar los requerimientos técnicos para el diseño del procedimiento de calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases.
- Comprobar mediante una validación que el diseño para la calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases cumple con el tercio de la incertidumbre mínima para reportar en un certificado de calibración bajo la norma ISO 17025.
- Definir el alcance de medición para el procedimiento de calibración de equipos de medición de flujo de gases acorde al mercado peruano.
- Validar el procedimiento de calibración con la Gerencia Técnica de la empresa donde vengo laborando.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES**

#### **2.1.1 Antecedentes Nacionales**

Norma Metrológica Peruana NMP-016 (2012) titulada “Medidores de Gases, Requisitos metrológicos técnicos y ensayos de funcionamiento”, aprobada por la Dirección de Metrología – INACAL

Con esta Norma se concluyó que:

Que los fundamentos legales que nos proporcionan ayudan a las empresas puedan realizar aprobación de modelo de medidores de gases, que consta en hacer pasar por pruebas extremas al medidor, así mismo, nos indica los pasos a seguir para que las empresas puedan acreditarse bajo la norma ISO 17020 para la verificación inicial y posterior de medidores de gases así mismo, la norma nos marca los límites en la cual debemos trabajar nuestro procedimiento de calibración de equipos de medición de flujo de gases.

Sandoval, Renato. (2019) en su Tesis “Evaluación técnica-económica de un medidor ultrasónico para reemplazo del medidor de presión diferencial en la medición del gas natural en el noreste del Perú”, trabajo realizado para obtener el título de Ingeniería de Petróleo en la Universidad Nacional de Piura, Perú.

En la presente tesis se concluye:

La importancia analizar de los diferentes tipos de medidores de flujo de gases con la finalidad de comprobar sus incertidumbres y cuánto aportan en la medición electrónica del gas natural, así mismo, la importancia de corroborar la durabilidad, funcionamiento y que cumplan con las normativas internacionales como la ASTM, AGA Y API usadas en la industria de hidrocarburos.

Beingolea, J. y Silva, H (2017) en la tesis “Plan de negocio para la contratación de medidores de gas natural en Lima y Callao, y su impacto en la calidad de servicio residencial”, trabajo realizado para la obtención de su maestría en Administración en la Universidad ESAN, Perú.

En la presente tesis se concluye:

La importancia de tener laboratorios de clase 2 que puedan brindar el servicio de calibración o verificación inicial de equipos de medición de flujo de gases ante el crecimiento del servicio residencial para gas natural en Lima y Callao con la finalidad proteger al consumidor de un pago justo del servicio del gas domiciliario.

INACAL (2017) “Procedimiento para la verificación de medidores de gas tipo Diafragma (Utilizando un Banco de Toberas de flujo crítico como patrón) PV-008”

En el presente procedimiento se concluyó:

La importancia de crear un procedimiento para realizar la verificación de medidores de gas tipo diafragma de tamaños específicos G1.6, G2.5 y G4 de instalación doméstica utilizando un banco de toberas puesto que se instalan medidores incumpliendo la norma metrológica peruana y se relaciona con el diseño de la propuesta de calibración que implementaremos ya que contempla medidores domiciliarios e industriales abarcando un mayor alcance de trabajo.

INACAL (2019) “Procedimiento para la verificación de banco de pruebas de medidores de gas tipo diafragma (G1.6 a G4). Banco de Toberas de Flujo crítico y Banco de cámaras húmedas (PV-013)”

En el presente procedimiento se concluyó:

Al contar un procedimiento para la verificación de medidores de gases (PV-08), también se necesitaría poder calibrar o verificar los medios donde se verifican los

medidores de gas domiciliario, diseñó un procedimiento PV-013 para verificar los bancos utilizados como patrones tales como el banco de toberas y el banco de cámaras húmedas con la finalidad de conocer el correcto funcionamiento de los mismos y que se rija a la normativa peruana NMP-016 en cuanto a cumplir el tercio de la incertidumbre. Este procedimiento es un servicio brindado por INACAL donde realizan un estudio minucioso de todos los patrones usando dentro del banco tales como: Manómetros de presiones relativa, sensores de temperatura y las toberas que son los instrumentos con mayor aporte de incertidumbre.

### **2.1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Centro de Normalización Español (2018) UNE-NE 1359 en el procedimiento titulado “Contadores de gas. Contadores de volumen de gas de membrana deformable” el procedimiento de 1999 y el actualizado 2018

Se concluyó que es una guía para que cualquier entidad de calidad de los países del mundo pueda comenzar la investigación para la verificación de medidores de gases acorde a su realidad nacional y así poder aportar cualquier descubrimiento encontrado en base a su experiencia, así mismo, nos da un marco referencial en aporte al procedimiento de medición electrónica de equipo de flujo de gases en base a las condiciones ambientales que es un pilar muy importante al momento de la calibración.

OIML R-137-1 y 2 (2012) en su recomendación internacional titulada “Parte 1: Requisitos Metrológicos y Técnico para contadores de gases, Parte 2: Controles Metrológicos y pruebas de rendimientos para contadores de gases”



La recomendación por parte del Organismo Internacional de Metrología, se concluye que: Gesta las directrices necesarias para que los países usen las recomendaciones para generar sus propias normativas internas acorde a su realidad nacional también se relaciona con nuestro procedimiento puesto que nos da marco referencial de los medidores de flujo de en cuanto a las pruebas de aprobación de modelo y homologaciones de estos equipos a nivel internacional

García, L y Convelí, G (2010) en su Paper titulado “Desarrollo de un Banco de calibración para medidores de gas de alto caudal de la corporación CDT de Gas” realizado en el Simposio de Metrología, Colombia

En el paper se concluye que:

La importancia de los requisitos metrológicos y operaciones del funcionamiento del banco a diseñar y cómo se debe elegir los medidores de estudio con la finalidad definir cuáles son los aportantes de incertidumbre y cómo influyen más dentro del proceso de calibración de dichos equipos, para generar un correcto diseño del banco de pruebas en altos caudales.

Brayan Fabian Vargas Burgos (2019) en su Tesis titulada “Automatización del Proceso de Calibración para medidores tipo Diafragma, Rotativo, Turbina y Ultrasónico” trabajo realizado para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico y Electrónico en la universidad Pontificia Bolivariana, Venezuela

con esta tesis se llegó a la conclusión que:

Se tiene que evaluar los instrumentos y los actuadores para el funcionamiento del banco automatizado, así mismo, como se usará la arquitectura SNAP PAC de Opto 22 que es un controlador programable que será la cabeza principal de todo el sistema, también nos muestra las simulaciones y el análisis en los caudales de trabajo dentro del alcance de 3 m<sup>3</sup>h a 4800 m<sup>3</sup>h para poder abarcar medidores de turbinas que son usados en las plantas de extracción del gas natural.

Norma Metrológica Mexicana PROY-NOM-014-SDFI (2017) en el procedimiento titulado “Medidores de desplazamiento positivo tipo diafragma para gas natural o L.P en estado gaseoso – Especificaciones, método y prueba de verificación”

En el procedimiento se concluye que:

La importancia validar los diferentes tipos de métodos de prueba que deben cumplir los medidores de desplazamiento positivo tipo diafragma tanto para gas natural o petróleo en estado gaseoso, así mismo, requisitos técnicos sobre la capacidad del medidor puesto que México al igual que nuestro país se encuentra en una masificación del uso de gas natural en todo su territorio nacional.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

En las bases teóricas hemos realizado una recopilación de conceptos, que conforman un enfoque para sustentar nuestro problema planteando y son los siguientes

### **2.2.1 CALIBRACIÓN**

La calibración es la acción de comparación documentada entre el dispositivo o instrumento de medición electrónica contra un patrón de referencia de valor conocido y mayor exactitud. Los valores obtenidos y la diferencia determinada se reportan en un certificado de calibración para que el usuario final pueda relacionar los valores obtenidos contra los valores convencionalmente verdaderos del patrón de referencia.

La calibración suele darse de manera periódica en los instrumentos de medición, esto nos muestra una radiografía del comportamiento de los equipos a su vez nos muestran resultados confiables y cuentan con trazabilidad a las unidades de medida internacionales (VIM,2012).

## **2.2.2 MEDICIÓN ELECTRÓNICA**

Las mediciones electrónicas, son métodos o técnicas usadas por los dispositivos o medios electrónicos para crear estímulos y capturar respuestas de un sistema u equipo ejemplo (medición por corriente 4 a 20 ma, medición por procesamiento de imagen, medición por inducción)

### **2.2.2.1 MEDICIÓN DE GAS NATURAL**

Dentro de las mediciones de fluido compresible está comprendida la medición de gas natural puesto que su comportamiento viene afectado por variaciones tanto en presión y temperatura a la cual se encuentra y esto dependerá de la proporción de compuesto que están unidos dentro de este, así mismo, para determinar la una medición correcta, se debe realizar directamente en una línea donde esté fluyendo el gas de manera constante para luego almacenarla (Villavicencio, 2015).

### **2.2.2.2 MEDIDORES TIPO DIAFRAGMA**

Los medidores tipo diafragma son medidores son muy utilizados en el ámbito residencial, este tipo de medidores trabajan mediante desplazamiento positivo tal como se aprecia en la Figura 1, funcionan llenando y vaciando cámaras de volumen definido, la operación que realiza es cíclica, dentro de las cámaras interiores se encuentran separadas por diafragmas que tienen la forma de pulmoncitos, al ingresar el flujo de gas dentro de la cámara se realizará la compresión del diafragma esto originará que el diafragma de la otra cámara se expanda y el volumen de gas establecido salga por la parte superior como se ve en la figura 2, el proceso de flujo mueve un odómetro que girara acorde al volumen registrado mostrando un valor de consumo del gas. (Vargas, 2019)



Figura 1. Medidor Tipo Diafragma  
Fuente: bellflowsystems.co.uk (2018)

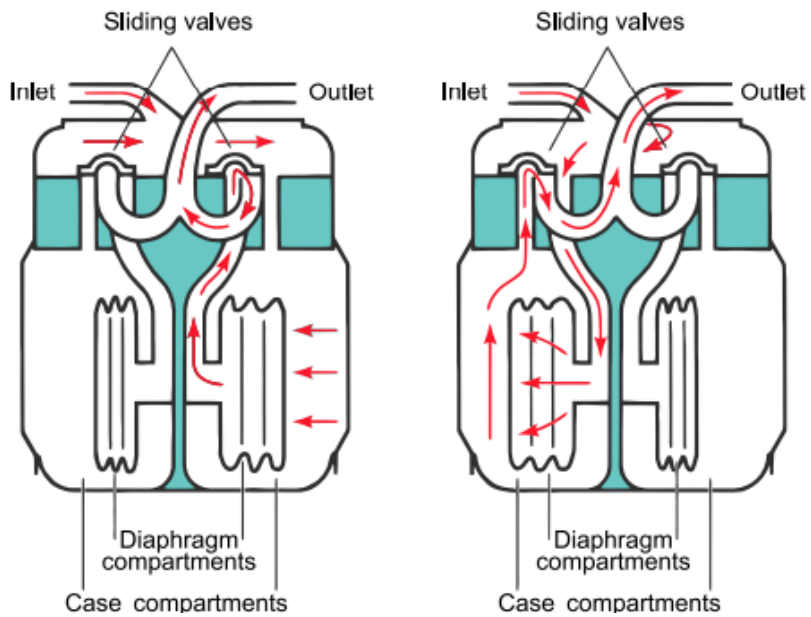


Figura 2. Funcionamiento de Medidor Tipo Diafragma  
Fuente: American Meter Company (2019)

### 2.2.2.3 MEDIDORES TIPO ROTATIVO

Son medidores para un uso mayormente industrial, también son medidores de desplazamiento positivo, el funcionamiento de los medidores rotativos es que el fluido circula a través de compartimentos que van girando, generando una relación lineal entre la velocidad del fluido, la rotación genera el caudal que mecánicamente mueve un tren de engranajes para permitir mover el contador del volumen transcurrido por las cámaras como se aprecia en la figura 3 (Premac, 2018).

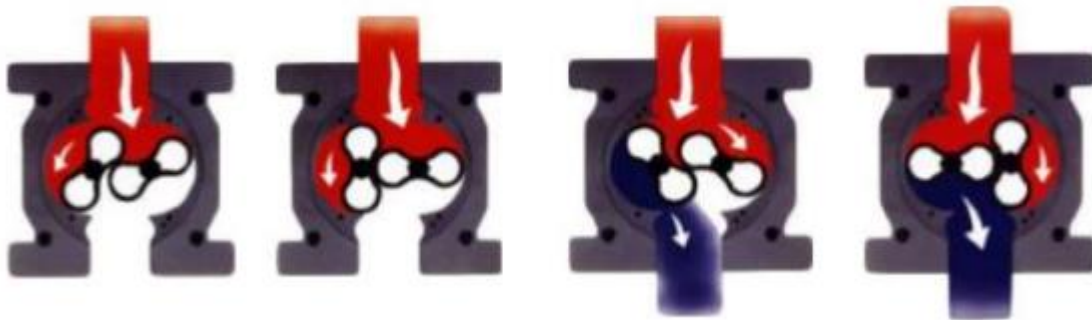


Figura 3 Funcionamiento de medidor Rotativo mediante el giro de engranajes

Fuente: (2015)

### 2.2.3 BANCO DE TOBERAS

El banco de toberas en su sistema semifijo de toberas de medición de caudal de gas formado por 6 toberas tipo Venturi con una sección de entrada toroidal, están instaladas de manera paralela para poder realizar la variación de caudal en base a la sumatoria de toberas de flujo crítico para obtener un mayor caudal para cubrir un mayor alcance al momento de la calibración de equipos de medición de flujo de gases (López, 2006). El equipo que dispone la empresa para este trabajo de titulación es un banco de medición de 12 cabezales con toma medición electrónica de flujo de gases.

Figura 4 podemos observar un banco de tobera automatizado con 5 cabezales de la marca B-Sonic



Figura 4. Banco de Toberas automatizados de 5 canales B-Sonic  
Fuente: German Covelli Solano (2019)

#### **2.2.4 TOBERA DE FLUJO CRÍTICO**

Las toberas de flujo crítico son usadas como patrones y es un instrumento para la medición del flujo másico de gases. Su principal funcionamiento se basa en el principio de la conservación de masa y cuando pasa un flujo a través de la tobera en su área determinada, se calcula velocidad de flujo y el caudal de trabajo tal como se puede apreciar en la figura 5 (CENAN,2015).

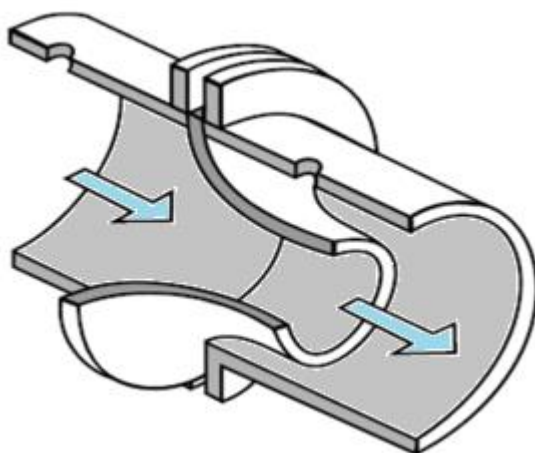


Figura 5. Tobera de Flujo Crítico, mide flujo másico de gases

Fuente: instrumentacionuc.wixsite.com (2019)

### 2.2.5 ISO/IEC 17025

Esta norma va dirigida para laboratorios de calibración o laboratorios de ensayos, se creó con la finalidad para poder brindar una guía en la administración de la gestión de calidad y darle la sustentación técnica para que los laboratorios puedan acreditarse siguiendo los lineamientos establecidos y para poder garantizar la competencia y la fiabilidad de los resultados al momento de la emisión de un certificado (ISO/IEC 17025,2017).

#### ➤ IMPARCIALIDAD

Es un requisito fundamental en el cual no debe existir un conflicto de intereses en las actividades que realiza el laboratorio tanto en la verificación y calibración de los instrumentos trabajados (VIM,2012).

➤ **CONFIDENCIALIDAD**

Las propias actividades que realiza el laboratorio tienen como requisito la confidencialidad y el salvaguardo de la información obtenida mediante las verificaciones, ensayos o calibraciones de los equipos o información proporcionada por el cliente (CEM, 2012)

➤ **CONDICIONES AMBIENTALES**

El laboratorio debe asegurar que las instalaciones y las condiciones ambientales, sean las adecuadas y no perjudiquen la validez de los resultados obtenidos en las actividades propias del laboratorio.

La ubicación del laboratorio es muy importante debe estar alejado de vibraciones mecánica y de fuentes eléctricas o electromagnética, así mismo, debe tener un control de ruido y control de temperatura de preferencia no incide la luz solar u otra fuente de calor radiante en el laboratorio (ISO/IEC 17025,2017).

➤ **EQUIPAMIENTO**

Son todos los materiales de referencia que están presente en los laboratorios para el proceso de calibración estos pueden ser: equipos de medición, equipos de referencia, patrones de medición y equipos auxiliares todo deben estar debidamente calibrados, así mismo, deben contar con su programa de calibración, su deriva y confirmación metrológicos (ISO/IEC 17025,2017)

➤ **TRAZABILIDAD**

La trazabilidad metrológica, no es más que un histórico de resultados que nos permite enlazar una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida que finalmente llega a ser trazable hasta entidades reconocidas a nivel internacional (CEM,2012)



### ➤ **METROLOGÍA**

La metrología es una ciencia que estudia las mediciones de todo tipo de magnitud, utilizando normas internacionales y garantizando la incertidumbre de medida mediante trazabilidades, La metrología se encuentra en el Ambiente industrial, Científico y Legal, su principal fundamento es obtener el correcto valor medido de cualquier instrumento mediante métodos apropiados y procedimientos establecidos (VIM,2012).

### ➤ **INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN**

La incertidumbre de medición refleja la falta de conocimiento sobre el verdadero valor de la medición. El resultado de la medida sigue siendo una duda puesto que al aplicar las correcciones debidas todavía hay una incertidumbre proveniente de los aportantes utilizados en el modelo matemático

La incertidumbre está definida como: El parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los resultados atribuidos a un mensurando a partir de la información que se utiliza (GUM,2008)

## **2.2.6 Modelo Matemático**

### ➤ **Error de la Medición Modelo General**

El error de la medición es igual a la diferencia del valor medido de una magnitud menos el valor verdadero de una referencia de un patrón de mayor exactitud y clase y esto se puede apreciar en la ecuación 1 (CEM,2012).

$$E_{p,i} = \frac{V_i - V_0}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

**Donde:**

$E_{p,i}$	=	Error porcentual de la indicación del medidor de gas
$V_i$	=	Volumen de aire en litros que registró el Medidor Bajo Prueba (MUT)
$V_0$	=	Volumen de aire en litros que pasó realmente por el medidor bajo prueba (valor de referencia). Valor determinado con el patrón.

➤ **Volumen Bajo Prueba Calibración**

La ecuación 2 nos da el cálculo real del fluido que pasará a través del medidor al momento de la calibración (PC-MV-001-METROIL,2020)

$$V_0 = \frac{\theta}{3,6} * q_v \quad (2)$$

**Donde:**

$\theta$	=	Tiempo de ensayo en segundos.
$q_v$	=	Caudal volumétrico que fluye por el medidor a calibrar.

➤ **Caudal volumétrico**

El caudal volumétrico que fluye a través del medidor se toma de referencia del procedimiento del procedimiento de calibración de medidores volumétricos está determinado por la ecuación 3 (PC-MV-001-METROIL,2020).

$$q_v = \left( \sum q_{m,atmos} \right) \div \rho_{medidor} \quad (3)$$

**Donde:**

$q_{m,atmos}$  = Caudal másico de aire atmosférico que fluye por el medidor en kg/h

$\rho_{medidor}$  = Densidad del aire atmosférico que fluye por el medidor en kg/m<sup>3</sup>

➤ **Factor de Corrección de flujo Másico**

Para poder hallar el factor de corrección del flujo másico de la fórmula 4 se tiene que cumplir lo siguiente:

- La Temperatura debe mantenerse en el tiempo, corriente de flujo arriba debe estar en grados Kelvin (K)
- La Presión Atmosférica debe estar definida y debe estar Mega Pascal (MPa)

$$q_{m,atmos} = q_{m,dryCO_2-free} \times \left[ 1 + X_{CO_2} (0,25 + 0,04732\pi) + \frac{RH}{100} \mathbf{A. B} \right] \quad (4)$$

Donde:

$q_{m,dryCO_2-free}$  = Caudal másico de aire seco y libre de CO<sub>2</sub> que fluye por el medidor en kg/h.

$X_{CO_2}$  = Fracción molar de CO<sub>2</sub> en el aire (usar 0,0004).

$RH$  = Humedad relativa (%) del aire.

A y B = Son constantes

Tabla 1 Valores de corrección de flujo másico con temperatura y presión constante

T (K)	P (Mpa)	RH%	$q_{m,dryCO_2-free}$	$q_{m,atmos}$
280	0,1	50	241,663	241,403
280	1	100	2427,42	2427,11
305	0,1	75	321,501	229,674
305	2	100	4662,04	4660,15

Fuente: ISO 9003:2005, apéndice D

La fórmula 4 de corrección del flujo másico es usada con sus variantes acorde a nuestro banco de toberas para encontrar el flujo másico que recorre el equipo de medición electrónica de flujo de gases en la prueba de calibración (ISO 9300,2005)

➤ **Caudal másico del aire**

El caudal másico del aire viene de un análisis del banco de toberas MJ2210-12 de flujo crítico y se puede ver en la ecuación 5 (ISO 9300:2005).

$$Q_{m,dryCO_2free} = \frac{A_{nt} C_{d'} C_* p_0}{\sqrt{\left(\frac{R}{M_a}\right) T_0}} \quad (5)$$

Donde

- $A_{nt}$  = Área de la garganta de la tobera en  $m^2$
- $C_{d'}$  = Coeficiente de descarga de la tobera
- $p_0$  = Presión de estancamiento en kPa
- $T_0$  = Temperatura de estancamiento en K
- $R$  = Constante Universal de los gases
- $M_a$  = Masa molar de aire seco en kg/mol
- $C_*$  = es la función de flujo crítico del aire seco

➤ **Función Flujo Crítico del aire Seco**

La función de flujo crítico del aire seco viene de una evaluación del aire y estada dada por la ecuación 6 (ISO 9300, 2005).

$$C_* = \sum_i^n a_i \pi^{b_i} \tau^{c_i} \quad (6)$$

Donde:

- $a_i, b_i$  y  $c_i$  = Constantes de la función flujo crítico
- $\pi$  = Presión prueba / Presión Constante
- $\tau$  = Temperatura prueba / Temperatura Constante

➤ **Cálculo de la Densidad del Aire**

La ecuación 7 del cálculo de la densidad del aire viene del estudio realizado por International *Committee for Weights and Measures*, utilizamos la fórmula de referencia para poder medir la densidad del aire en el proceso de calibración con nuestras variantes, acorde al medio que utilizamos para calibrar los equipos de medición electrónica de flujo de gases (CIPM,2007).

La ecuación del cálculo de densidad del aire es la siguiente:

$$\rho_{medidor} = \frac{p}{Z \left( \frac{R}{M} \right) T} \quad (5)$$

Donde:

- $p$  = Presión del aire que fluye en el medidor en kPa
- $T$  = Temperatura del aire que fluye en el medidor en K
- $M$  = Masa molar del aire húmedo que fluye en el medidor en kg/mol
- $R$  = Constante molar de los gases en J/mol.K
- $Z$  = Factor de compresibilidad del aire

➤ **Masa Molar de aire Húmedo**

La masa molar de aire húmedo viene dada por la ecuación 8 (ISO 9300,2005)

$$M = M_a \times (1 - X_v) + M_v \times X_v \quad (8)$$

$M_a$	=	Masa molar del aire seco
$X_v$	=	Fracción molar de vapor de agua presente en el aire
$M_v$	=	Masa molar del agua

➤ **Fracción Molar de vapor de agua**

La Fracción Molar de vapor de agua varía tal como el volumen de gas dependiendo del cambio de temperatura y presión, la fórmula está dado por la ecuación 9 (PC-015,2017).

$$X_v = \frac{hf p_{sv}}{p} \quad (9)$$

**Donde:**

$f$  = Es el favor de Fugacidad

$p_{sv}$  = Es la Presión de vapor Saturado en Pa.

➤ **Factor de Fugacidad**

El factor de fugacidad esta la relacionada con la temperatura del gas, en nuestro caso el aire que es el fluido que utilizamos en nuestro proceso de calibración y está dada por la ecuación 10 (PC-015,2017).

$$f = \alpha + \beta * p + \gamma * t^2 \quad (10)$$

**Donde:**

$\alpha, \beta, \gamma$  = Son las constantes para el cálculo del factor de fugacidad  
 $t$  = Temperatura del aire en Celsius °C

➤ **Presión de Vapor Saturado**

La presión de vapor saturado se origina cuando el aire pasa por un contenedor cerrado generando que las moléculas de agua regresen a un estado líquido a una determinada temperatura y generando una determinada presión y la fórmula está dada por la ecuación 11 (PC-015,2017).

$$p_{sv} = 1Pa * exp\left(A_1T^2 + B_1T + C_1 + \frac{D_1}{T}\right) \quad (11)$$

Donde:

$A_1, B_1, C_1, D_1$  = Son constantes para el cálculo de la presión de vapor saturado.  
 $t$  = Temperatura del aire en Celsius °C

➤ **Factor de compresibilidad del aire**

La fórmula del factor de Compresibilidad del aire viene dada por la revisión de la densidad del aire húmedo y se puede ver en la ecuación 12 (CIPM-2007).

$$Z = 1 - pT^{-1}[a_0 + a_1t + a_2t^2 + (b_0 + b_1t)X_v + (c_0 + c_1t)X_v^2] + p^2T^{-2}(d + eX_v^2) \quad (12)$$

**Donde:**

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, c_0, c_1, d, e$  = Son constantes de Factor de compresibilidad



➤ **Incertidumbre Combinada**

La Incertidumbre combinada es el resultado de combinación de las contribuciones de todas las fuentes de incertidumbre del modelo matemático para calcular el error, y parte de la incertidumbre Estándar, donde cada componente de la incertidumbre de medida es evaluada bajo condiciones definidas mediante un análisis estadístico de dispersión de los datos de una serie de medidas realizadas. (CEM,2012)

Tabla 2: Ejemplo Aportantes de Incertidumbre Procedimiento ME-003

Magnitud $x_i$	estimación $x_i$	incertidumbre típica $u(x_i)$	distribución de probabilidad	coeficiente de sensibilidad $c_i$	incertidumbre $u_i(y)$
Densidad del fluido	920 kg/m <sup>3</sup>	$\frac{20}{\sqrt{3}}$	rectangular	$9,8 \cdot 0,01^{(1)}$	11,3 Pa
Densidad del aire	1,120 kg/m <sup>3</sup>	$\frac{0,012}{\sqrt{3}}$	rectangular	$-9,8 \cdot 0,01^{(1)}$	$6,7 \times 10^{-4}$ Pa
Gravedad local	9,80 m/s <sup>2</sup>	$\frac{0,05}{\sqrt{3}}$	rectangular	$(920-1,12) \cdot 0,01^{(1)}$	0,26 Pa
Diferencia de altura	0 m	$\frac{0,01}{\sqrt{3}}$	rectangular	$(920-1,12) \cdot 9,8$	52 Pa
Corrección por nivel de referencia	$\Delta_{NR}$	Incertidumbre combinada		52 Pa	

Fuente: Procedimiento ME-003 (CEM)

La incertidumbre Combinada se puede definir como la raíz cuadrada de la sumatoria de todos los aportantes de incertidumbre y se puede ver en la ecuación 13

$$u(C_i) = \sqrt{\sum_m u_m^2} = \sqrt{u_{rep,i}^2 + u^2(\Delta_{NR}) + \sum_i u^2(\delta_i) + \sum_j u^2(\delta_j)} \quad (6)$$

### ➤ Cálculo de la Incertidumbre

Para el cálculo de incertidumbre debemos ver nuestro modelo matemático y ver los aportantes que intervienen en el cálculo de error para luego realizar la sumatoria de la incertidumbre estándar y multiplicarla por el coeficiente de cobertura para obtener la incertidumbre expandida para reportar en un certificado.

Lista de todos los aportantes de Incertidumbre en la medición

- $u(I_M)$  = Incertidumbre debida a la variación por lecturas del medidor
- $u(I_{\Delta T})$  = Incertidumbre debida a la variación de Temperatura.
- $u(I_{t*1})$  = Incertidumbre de la sumatoria de los transmisores de temperatura (3)
- $u(I_{p+1})$  = Incertidumbre de la sumatoria de los transmisores de Presión (3)
- $u(I_t)$  = Incertidumbre de las Toberas usadas en la calibración
- $u(I_A)$  = Incertidumbre por la densidad del aire.
- $u(I_h)$  = Incertidumbre del higrómetro (1)
- $u(I_{RES})$  = Incertidumbre debida a la resolución

- **Incertidumbre debida a la variación de lecturas del medidor.**

En el proceso de la calibración el medidor se repite en un mismo caudal 3 a 5 veces el valor en el mismo punto, para ver las variaciones de lectura para poder estimar la incertidumbre por variación en la ecuación 14 (GUM,2012).

$$u(I_M) = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (I_{Mi} - \bar{I}_M)^2\right)}}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

Donde:

- $\bar{I}_M$  = Es el valor medio de las indicaciones  $I_M$  del medidor a calibrar.
- = Es el valor de la indicación  $I_M$  del medidor a calibrar por cada evento  $i$  evaluado bajo condiciones de repetibilidad.
- $I_M$
- $n$  = Es el total de eventos realizados en forma independiente, en este caso  $n = 3$ .

- **Incertidumbre debida a la variación de temperatura**

Para evaluar la incertidumbre por variación de temperatura debemos tener una temperatura inicial y una temperatura final en el proceso de calibración así mismo, realizarle una diferencia en valor absoluto para aplicar la ecuación 15 de incertidumbre (Perez,2012)

$$u(I_{\Delta T}) = \frac{\Delta T}{\sqrt{3}} \quad (15)$$

- **Incertidumbre por calibración de los transmisores de temperatura**

Es aquella incertidumbre que es indicada en el certificado de calibración, estas son incertidumbres expandidas con un nivel de confianza del 95%, dado que está multiplicado por un factor de cobertura  $k=2$ , pero necesitamos la incertidumbre estándar para nuestro caso y podemos obtenerla con la ecuación 16. (Perez,2012).

$$u(I_{Pt}) = \frac{Up}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

- **Incertidumbre por resolución del transmisor de temperatura**

Los transmisores cuentan con una resolución mínima bajo los estándares de la NMP-016 y para determinar la incertidumbre se aplica la siguiente ecuación 17 (PC-MT-015)

$$u(I_{res}) = \frac{RES}{2\sqrt{3}} \quad (17)$$

- **Incertidumbre combinada de temperatura**

Teniendo todas las contribuciones asociadas a la temperatura se debe aplicar la fórmula 18 para obtener la incertidumbre combinada, de la misma manera se aplicará para de los Transmisores de Presión (GUM,2012)

$$u(T) = \sqrt{u^2(\Delta T) + u^2(t_{res}) * u^2(p_t)} \quad (18)$$

- **Incertidumbre por Toberas**

Para la calibración de un medidor de medición electrónico de flujo de gases se usa un conjunto de toberas para poder llegar al caudal necesario, cada una de estas toberas cuentan con incertidumbres de aportes muy diferente por tal manera se realiza la sumatoria de incertidumbre estándar de toberas en la ecuación 19 (GUM,2012)

$$u(I_{T1+T2+T3}) = \frac{T1}{k} + \frac{T2}{k} + \frac{T3}{k} \quad (19)$$

- **Incertidumbre de la densidad del aire**

Cómo usamos el aire como fluido para realizar el proceso de calibración de los equipos de medición electrónica de flujo de gases es un importante aporte de incertidumbre y está dada por la ecuación 20 (PC-015;2017)-

$$U(I_A) = \left[ \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N v_i x \left( \frac{1}{P_W - P_a} - \frac{1}{P_W - P_a} \right) \right] x U_{pa} \quad (20)$$

Donde:

$$600 \text{ mba} \leq p \leq 1000 \text{ mbar}$$

$$20\% \leq h \leq 80\%$$

$$15 \text{ }^\circ\text{C} \leq t \leq 27^\circ\text{C}$$

Si las condiciones ambientales se encuentran dentro de los alcances mencionado la incertidumbre de la densidad del aire sería  $U(I_A) = 2,4 \times 10^{-4}$

### 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Caudal (Q):** Volumen de Fluido que circula a través del medidor en unidad de tiempo y es expresado  $\text{m}^3/\text{h}$ .8 (OIML,2012, p 10).
- **Caudal mínimo (Qmin):** Es el caudal mínimo en el cual el medidor debe permanecer operando sin superar su error máximo permisible (EMP) y se debe expresar en  $\text{m}^3/\text{h}$  (OIML,2012, p 10).
- **Caudal Máximo (Qmax):** Es el mayor caudal del trabajo del medidor en la cual debe seguir operando sin superar su error máximo permisible (EMP) y se debe expresar en  $\text{m}^3/\text{h}$  (OIML,2012, p 10)
- **Clase de Precisión:** Los instrumentos de medición cuentan con sistemas que cumplen los requisitos metrológicos establecidos para la cual fueron creados por lo tanto deben mantener sus errores y su incertidumbre acorde a las especificaciones dadas por el fabricante (VIM, 4.25).
- **Condiciones de operación:** son las condiciones del ambiente en cuanto a presión y temperatura en que se encuentra el medidor de gas al inicio y al final del ensayo (OIML,2012, p 10).

- **Dispositivo Indicador o visualizador:** es la parte del medidor de flujo de gas que nos muestra los resultados de la medición (VIM, 4.15).
  
- **Error de Medida:** es la diferencia del valor medido de una magnitud y un valor de referencia de un patrón con mayor resolución y clase (CEM,2012).
  
- **Error Máximo Administrable:** es el error máximo que el medidor no debe exceder cuando trabaja en condiciones establecidas por el fabricante (VIM, 2.16).
  
- **Error Máximo Permitido (EMP):** es el Error extremo o máximo tolerado por cualquier instrumento de medida, con respecto a un valor referencial, por lo general viene dada en las especificaciones del fabricante con la finalidad de conocer la clase de exactitud del instrumento (VIM, 4.26).
  
- **Incertidumbre de Medida:** está definida como un rango de confianza donde se encuentra las medidas tomadas en una calibración (GUM, 2008)

## **CAPÍTULO III: CONTENIDO DEL TRABAJO**

### **3. Descripción de la tesina**

Actualmente vengo laborando en la empresa Metrología e Ingeniería Lino S.A.C donde vengo desempeñándome como supervisor de laboratorios, mis conocimientos de electrónica y automatización me ayudan a comprender el funcionamiento de los equipos utilizados para la calibración de instrumentos, por tal motivo nace la iniciativa de realizar un procedimiento de calibración para equipos de medición electrónica de flujo de gases en un banco de toberas automatizados por la misma necesidad de la coyuntura actual del incremento del precio del GLP.

Para poder realizar este procedimiento tengo que realizar una evaluación si en Lima – Perú existen laboratorios de clase 2 que vengán realizando el servicio de calibración de equipos de medición electrónica de flujo de Gases bajo la norma ISO 17025.

Segundo tengo que evaluar los requerimientos técnicos en base a la normativa peruana NMP-016 (2012) para cumplir los estándares para la calibración de los equipos de medición electrónica de flujo

Tercero en base a mi modelo matemático para la calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases, tengo que ver los mayores aportantes de incertidumbre estándar tales como la temperatura, presión, densidad del aire, deriva del patrón para obtener mi incertidumbre expandida que debe cumplir con el tercio de la incertidumbre mínima para reportar en un certificado de calibración bajo la norma ISO 17025.

Cuarto se tiene que definir el alcance de la calibración de los equipos de medición electrónica de flujo de gases a la demanda de dichos equipos en el mercado peruano para poder abarcar tanto equipos domiciliarios e industriales

Por último, para finalizar el desarrollo de este procedimiento, el personal del área de Gerencia Técnica tiene que validar el procedimiento mediante una documentación para dar fe que el procedimiento es válido para poder proseguir en el proceso de la acreditación del mismo.

### 3.1 Determinación y Análisis del Problema

El estado peruano cuenta con yacimientos de gas natural y el 2002-01-16 Promulgó la ley 27332 donde regulan la distribución y comercialización del gas natural para que no origine monopolios, 2 años más tarde en el 2004 se le fue concedida la concesión definitiva a favor de la Empresa Cálidda, con la finalidad que comience con la masificación del gas natural, construyendo las troncales y acueductos donde se transportarán el gas a los departamentos principales. Así mismo, desde la concesión el 90% de los beneficiados con el servicio son las personas de los estratos C, D y E, justamente son las personas de bajos recursos económicos

Desde el 2004 el estado peruano ha promulgado leyes y normas que promueven la masificación de gas residencial y comercial tal como se ve en la tabla 3.

Tabla 3 Leyes y Normas que promueven la masificación del gas natural

Fecha Promulgación	Nº de Ley	Título de la Ley
2006-06-27	Nº 28849	Ley de descentralización del acceso al consumo de gas natural
2010-01-13	Nº 29496	Ley de creación de empresas municipales encargadas de la prestación del servicio público de suministro del gas natural por red de ductos en el ámbito de las municipalidades distritales y provinciales.
2011-06-09	Nº 29969	Ley de facilitación de conexiones domiciliares del servicio público de distribución de gas natural
2013-07-31	Decreto supremo 029-2013-EM	Emiten disposiciones para mejorar la operatividad de la masificación del gas natural.
2015-12-23	Nº 307-2015 OS/CD	Norma de Contraste y Verificación periódica de los medidores de gas natural

Fuente: Portal Web de Osinerming



Osinermining como Organismo de Supervisión de la Inversión de Energía y Minería, ya cuenta con la norma metrológica peruana NMP-016 (2012), nos dice que los medidores antes de ser instalados deben pasar por una prueba de verificación inicial para conocer el correcto funcionamiento del mismo y en 2015 aprobó la normativa para el contraste y verificación periódica de los medidores de gas natural, la cual señala que los medidores deben contar con una verificación posterior en un plazo no mayor de 5 años, pero en la actualidad no se cumplen ninguna de dichas normativas ya que el Perú no se brinda el servicio de calibración o verificación de medidores de gases por no contar con laboratorios clase 2, los medidores de flujo de gases son instalados directamente sin ninguna prueba de funcionamiento lo puede ser perjudicial económicamente para el usuario.

La normativa aprobada por Osinermining N° 307-2015 OS/CD donde nos pide verificar el medidor antes de 5 años, podría ser perjudicial puesto que un largo periodo los medidores podrían presentar fallas fábrica que originaría un costo elevado del consumo perjudicando a los usuarios, pero si trabajamos bajo un procedimiento acreditado bajo la norma ISO 17025, puesto que las calibraciones de los medidores serían de manera anual, y podríamos decir con total certeza el tiempo de vida útil del equipo de medición de gases en base a un histórico de 2 calibraciones en 1 año hasta que sus errores superen el EMP (error máximo permitido) y culmine el tiempo de vida del equipo.

El procedimiento acreditado bajo la norma ISO 17025 tiene un valor agregado en cuanto a una verificación inicial o posterior, ya que puede calibrar el equipo de medición electrónica de flujo de gases en todo su alcance, así mismo en el certificado se reporta el cálculo de incertidumbre que genera una mayor confianza y credibilidad de los resultados la calibración.

Los beneficios más importantes tenemos

- El procedimiento de calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases sería una contribución al servicio público, puesto que brindaría una mayor garantía en la calidad de la medición y protegería al usuario que un equipo venga defectuoso o con fallas de fábrica.
- Protegería al consumidor del pago justo del servicio del consumo de gas natural con la certeza de un equipo calibrado en base a este procedimiento

## **3.2 Modelo de Solución Propuesto**

### **3.2.1 Descripción del Proyecto para la Realización del Procedimiento**

Para poder realizar la creación del procedimiento de calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases, en un banco de toberas automatizados, bajo la norma ISO 17025 se hará uso de técnicas estadísticas (repetibilidad) y validación matemática para el cálculo de Error e Incertidumbre, el diagrama de las fases del desarrollo se puede ver en la figura 6.

Como primer paso antes de iniciar el desarrollo del procedimiento, se necesita realizar un estudio y análisis del banco de toberas automatizado en cuanto al hardware, software y al diseño del medio donde realizaremos la calibración de los equipos de medición electrónica de flujo de gases y esto se puede apreciar en el punto 3.2.2.

En segundo lugar, se tiene que analizar los equipos que van intervenir en el proceso de la calibración, sensor de temperatura, presión, toberas de flujo crítico en cuanto a exactitud y resolución, así mismo, en los periodos de calibración acorde a las recomendaciones y requerimiento de la norma metrológica peruana NMP-016 y el ente de acreditación INACAL y los verán en el punto 3.2.3.

Tercero luego de tener mapeado el funcionamiento del banco de toberas en cuanto a hardware y software, se debe realizar un análisis de los equipos e instrumentos que lo componen, para luego realizar el modelo matemático para el cálculo de error acorde al banco de toberas, de la misma manera analizar los aportantes de incertidumbre del modelo matemático para realizar el cálculo de incertidumbre que se reportara y lo veremos en el punto 3.2.4

Por último, se realizará una validación matemática del cálculo del error, en un punto a un medidor de medición electrónica de flujo de gases de la misma manera, se realizará el cálculo de incertidumbre en la medición del mismo equipo cumpliendo con el tercio superior requerido por la norma metrológica peruana

### 3.2.1.1 Diagrama de Flujo de la realización del Procedimiento

En la figura 6 podemos observar el diagrama de las fases que se desarrollaron para la implementación del procedimiento de calibración basado en la norma ISO 17025.

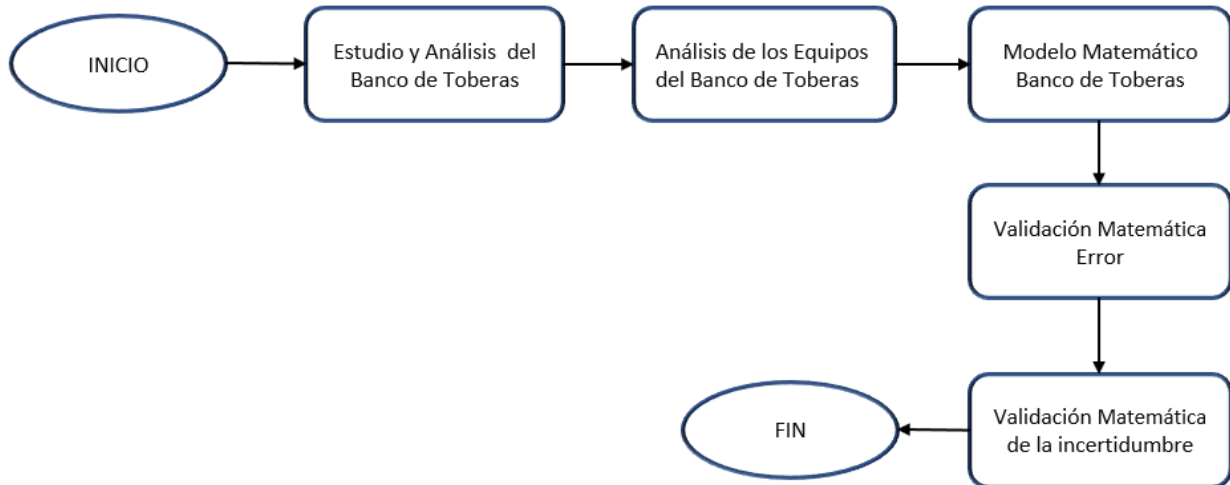


Figura 6 Diagrama de las fases del desarrollo del procedimiento

Fuente Elaboración Propia

### 3.2.2 Estudio y Análisis del Banco de Toberas Hardware y Software

#### 3.2.2.1 Hardware del Banco de Toberas

El Banco de Toberas de flujo crítico o toberas de velocidad sónica automatizado de modelo MJ2210-12, se diseñó bajo el estándar ISO 9300-2005, como característica principal se puede calibrar de manera serial 12 equipos de medición electrónica de flujo de gases de manera simultánea, lo que eleva mucho la eficiencia del equipo.

Como patrón principal tiene toberas de ultrasonido de Venturi, la cual le da una alta exactitud y estabilidad al momento de realizar la medición en el proceso de calibración, al contar con 7 toberas de diferente caudal, se puede realizar un juego de toberas la cual permite realiza diferentes puntos de calibración en los medidores de flujo de gases.

Para el proceso de la calibración se usa el método de presión negativa para tener las lecturas de presión se usan transmisores de presión absolutas. Se utiliza una bomba de vacío del tipo seco, lo cual siempre asegura que el gas que ha pasado por la tobera está en estado de flujo crítico.

El banco de toberas de flujo crítico automatizado, realiza las lecturas de los valores mediante el sistema de reconocimiento de procesamiento de imagen dinámico, en base cámaras que luego son procesados por el software para tener los resultados del valor de flujo volumétrico que paso por los medidores de medición electrónica de flujo de gases.

➤ Composición del Banco de Toberas

El banco de toberas de flujo critico modelo MJ2210-12 está constituido tal como se ve en la figura 7 y se puede apreciar la forma original en la figura 8

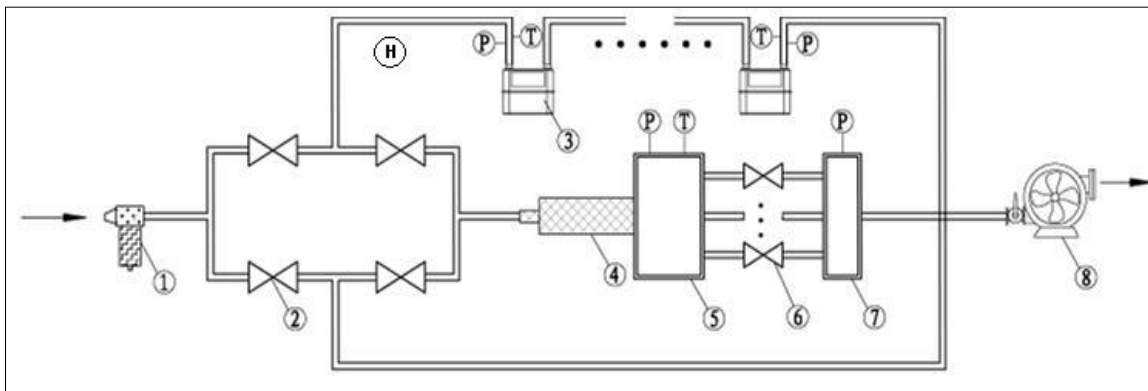


Figura 7 Diagrama del Banco de Toberas

Fuente Propia

Se puede apreciar en la leyenda la posición de los componentes dentro del diagrama del banco de Toberas de flujo crítico.

(P) = Transmisor de Presión

(T) = Transductor de Temperatura

(H) = Transmisor de Humedad

(1) = Filtro de Entrada de aire

(2) = Sistema de cambio automático de entrada de aire derecha e Izquierda.

(3) = Medidor de Calibración

(4) = Filtro Polímero

(5) = Contenedor de estancamiento

(6) = Equipo de Válvulas controladoras de flujo

(7) = Contenedor de contrapresión

(8) = Bomba de vacío



Figura 8 Banco de Toberas modelo MJ2210-12

Fuente: Manual del Fabricante

## ➤ Principio de Funcionamiento

El Funcionamiento de banco de toberas inicia con el proceso de succión del aire por la bomba de vacío generando un flujo crítico que llega a la garganta de la tobera, mientras el flujo llega a la velocidad máxima (velocidad Sónica), el flujo másico también llega a su valor máximo, esto genera un valor de caudal definido que pasa por los medidores de medición electrónica de flujo de gases y con la densidad del aire se puede obtener la caudal volumétrico que paso a través del medidor.

El medidor de medición electrónica de flujo de gases, cuenta con un odómetro que va conectado a un contador volumétrico, a medida que fluya el caudal definido, el contador comenzará a contar el volumen de gas que paso por el medidor de medición electrónica y la toma de lecturas se realiza mediante el procesamiento de imagen tal como se aprecia en la figura 9.



Figura 9 Toma de datos por procesamiento de imagen

Fuente Metroil

### 3.2.2.2 Software del Banco de Toberas

El manejo del banco de toberas de flujo crítico se da mediante un software exclusivo para el modelo MJ2210-12, que nos permitirá configurar los diferentes parámetros como tipo de equipo de medición, caudales en el alcance del medidor, testeo de los sensores en tiempo real.

Iniciaremos la configuración del software del banco de toberas:

- a) Se ejecuta el programa y seguidamente ingresamos el usuario que tiene el acceso de administrador para poder realizar las configuraciones previas a la calibración de los equipos de medición tal como se ve en la figura 10.

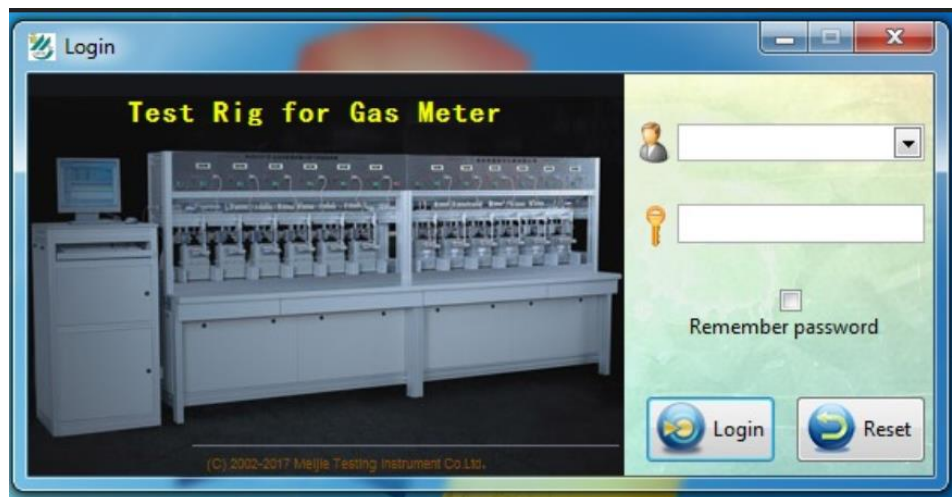


Figura 10 Login del Software – Test management

Fuente: Metroil



b) Luego de ingresar el usuario y loguearnos, seguidamente se abre la ventana principal del programa test management como se puede apreciar en la figura 11

- En el apartado 1 se debe apreciar de los 3 sensores las presiones del banco y de la misma manera la temperatura respectiva.
- En el apartado 2 podemos realizar la configuración del equipo que se va a calibrar, elegir el tipo de equipo, clase, caudales de trabajo, tipo de conexión, lecturas de la cámara,
- En el apartado 3, ya configurado nuestro equipo, tenemos que corroborar que exista comunicación entre el computador y el banco de toberas y lo veremos en el apartado d), si corroboramos que hay conexión procedemos a darle clic en continuar para iniciar el proceso de calibración.

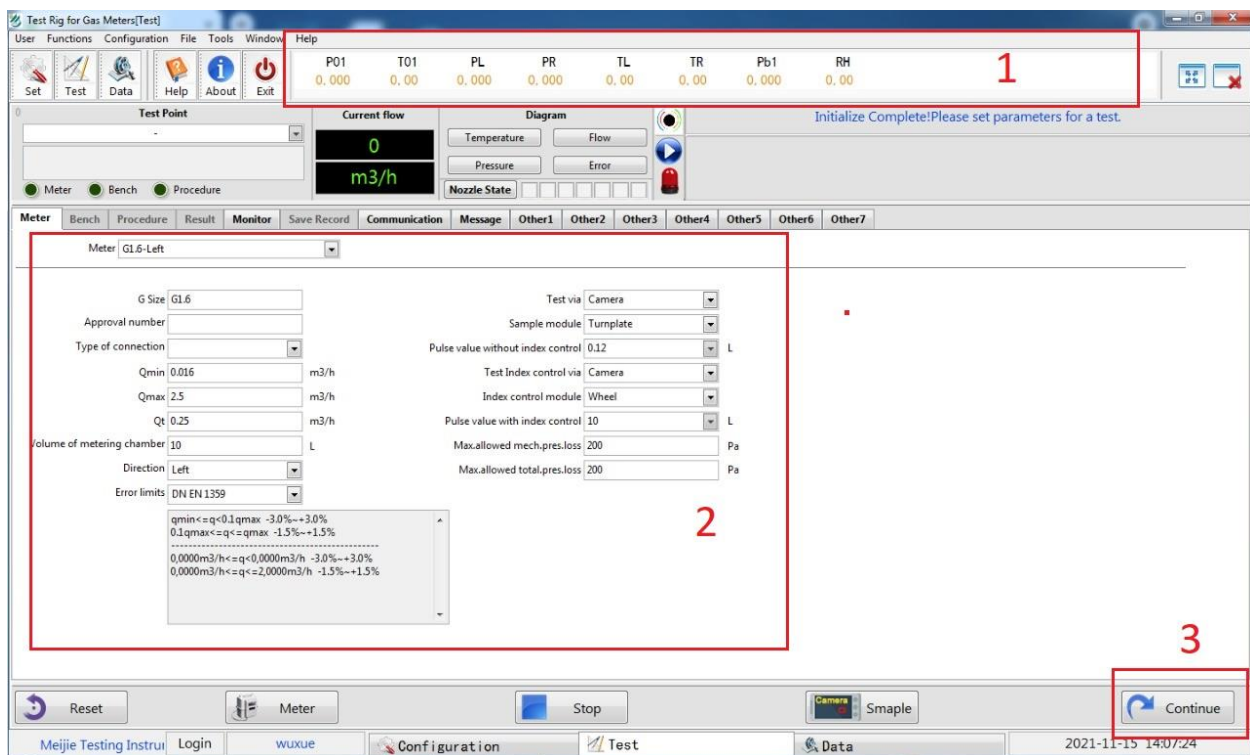


Figura 11: Ventana Principal de Inicio – Test Management

Fuente: Metroil

c) Debemos configurar la comunicación del computador con el banco de toberas de flujo crítico como se aprecia en la figura 12

- En el apartado 1 podemos elegir el puerto de comunicación, se detecta de manera automática, pero se puede elegir de manera manual.
- En el apartado 2 podemos configurar el módulo de comunicación acorde a las necesidades del operario antes de la calibración.
- En el apartado 3 se realizan pruebas de comunicación, enviando datos al banco de toberas para corroborar la correcta comunicación y no exista ningún contratiempo, al momento de la prueba de calibración.

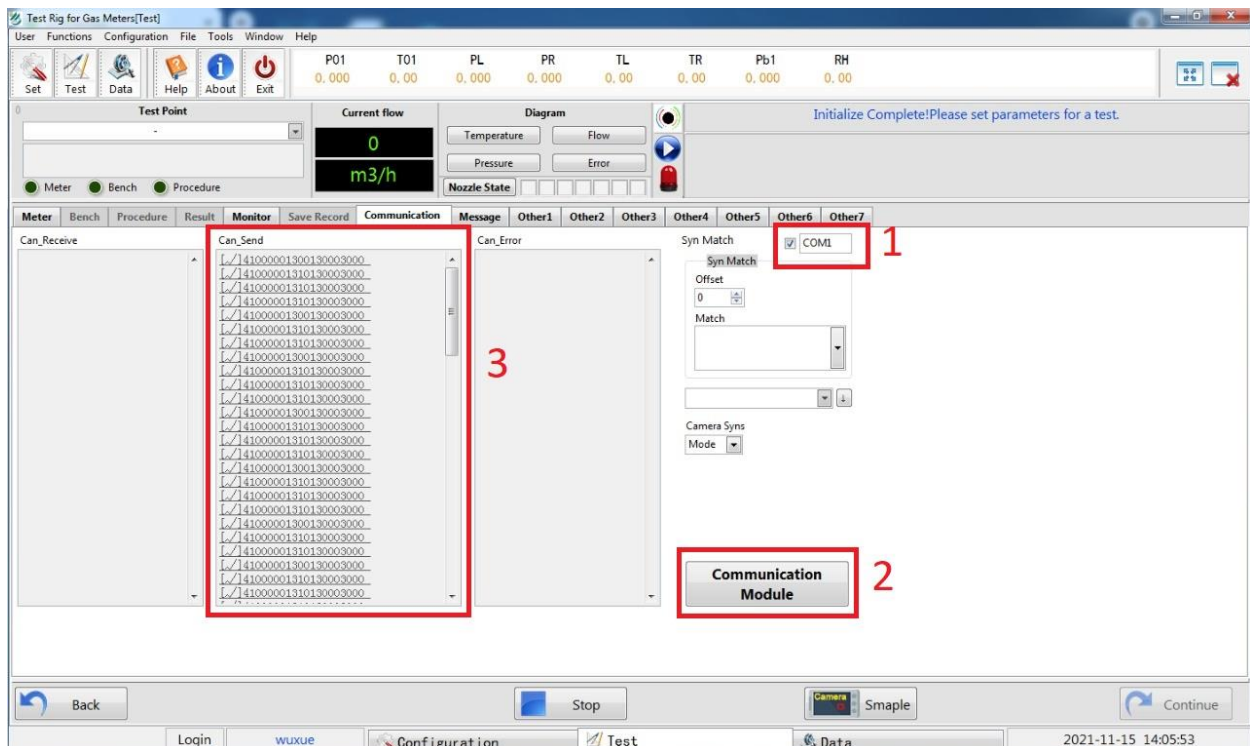


Figura 12 Interfaz de Comunicación – Test Management

Fuente: Metroil

- d) Se puede proceder a configurar en Data, las características de los equipos de medición de flujo con la finalidad de tener un mayor control de los instrumentos en las pruebas de calibración y tener un historial de las calibraciones realizadas a dichos medidores tal como se puede apreciar en la figura 13.

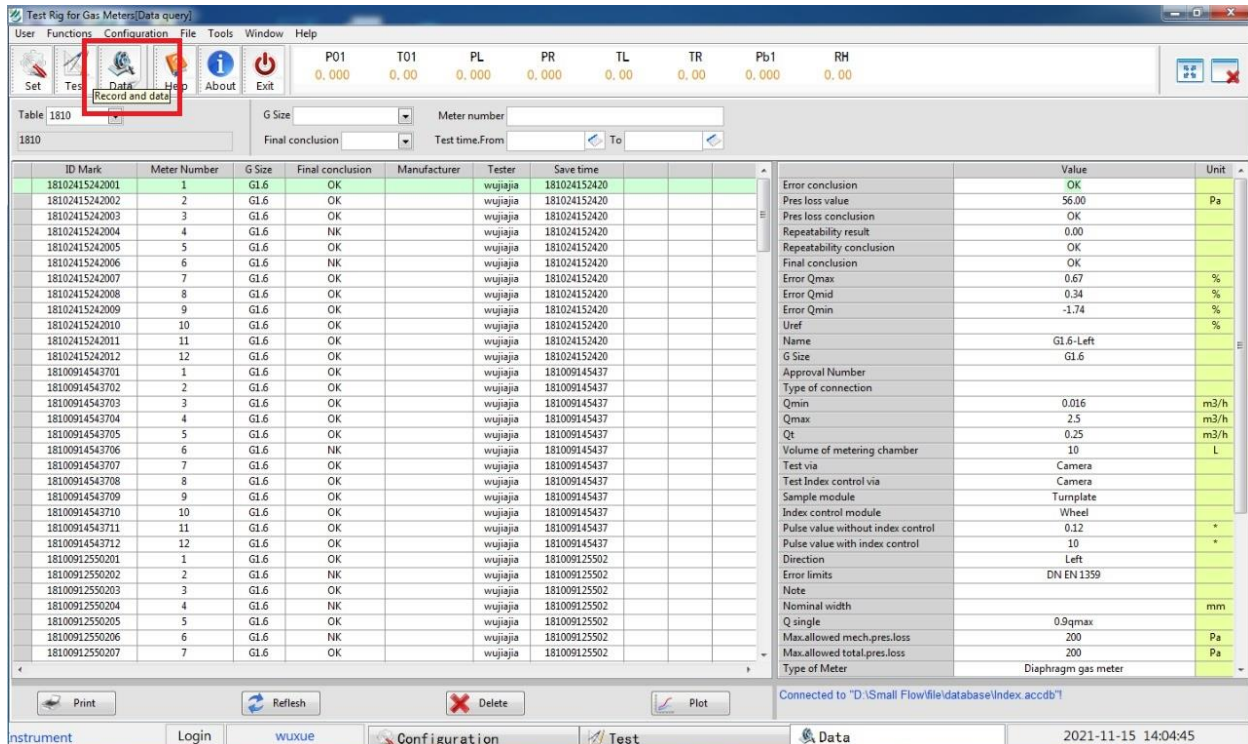


Figura 13 Ventana de configuración de las características de los equipos

Fuente: Metroil

- e) Luego de haber realizado los pasos anteriores de la configuración del software le damos clic en continuar para que inicie el proceso de la calibración y podemos observar en la figura 14 el esquema del banco de toberas y en tiempo real ver cuáles son las lecturas de los instrumentos y que tobera están siendo usadas al momento de la calibración de los equipos de medición electrónica de flujo de gases.

- En el apartado 1 se puede apreciar los 12 medidores que se pueden calibrar en serie y ver sus pantallas para ver el volumen de caudal que pasa a través de ellos.
- En el apartado 2 se pueden ver las toberas patrones y estas se activarán acorde al caudal configurado para la calibración de los equipos de medición electrónica de flujo de gases.
- En el apartado 3 se puede apreciar cómo se colocaron estratégicamente los transmisores de presión tanto en la entrada y la salida para poder medir la caída de presión al momento de realizar la prueba, de la misma manera los transmisores de temperatura se colocan de igual forma para ir monitoreando la temperatura en el proceso de la calibración, puesto que los valores mostrados son muy importantes al momento del cálculo del error.

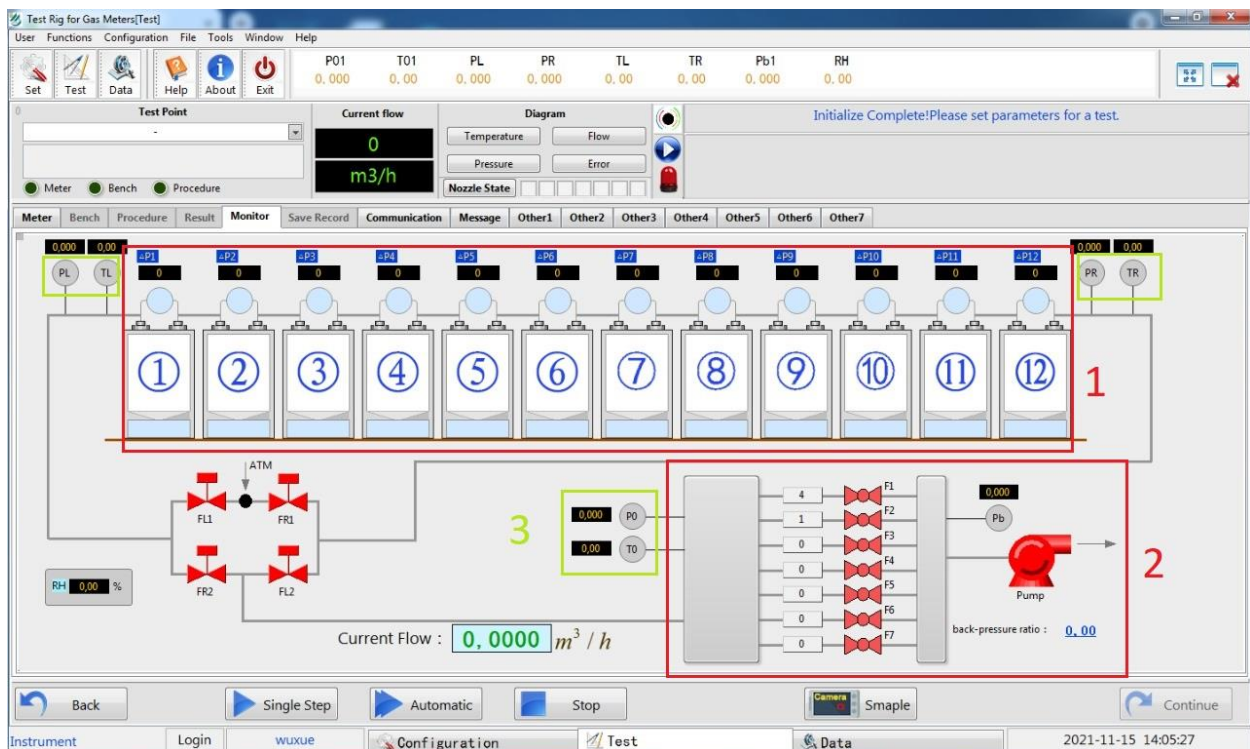


Figura 14 Esquema del Banco de Toberas – Test Management

Fuente Metroil

### 3.2.3 Análisis de los Equipos de los Banco de Toberas

Se analizaron todos los equipos que conforman el banco de toberas y como estos aportan en el proceso de la calibración en el cálculo del error y la incertidumbre, así mismo, se tiene que corroborar que todos cumplan las mínimas condiciones requeridas bajo la norma metrológica peruana NMP-016 y el procedimiento PV-013, en la tabla 4, se puede apreciar los componentes del banco de toberas y la cantidad de cada uno de ellos

Tabla 4 Componentes del banco de Toberas

N°	ITEM	Cantidad
1	Pinza Neumática	12
2	Toberas	7
3	Transmisor de Presión	3
4	Transmisor de Temperatura	3
5	Reloj	1
6	Transductor de Presión diferencial	12
7	Cámaras	12
8	Bomba de Vacío	1
9	Compresor de aire	1
10	Cilindro y Válvula Solenoide	12
11	Computadora	1

Fuente Propia

#### ➤ Patrones

Se deben usar patrones para el proceso de calibración toberas de flujo crítico que deben estar diseñadas bajo las recomendaciones y el cumplimiento de la norma ISO 9300-2005, e INACAL bajo su procedimiento PV-008 nos pide una incertidumbre expandida igual a 0,3% basada en el coeficiente de descarga “C<sub>d</sub>” como se aprecia en la tabla 5 tenemos una incertidumbre expandida de 0,2% en nuestras toberas cumpliendo el requerimiento establecido.

Tabla 5 Resultado de Calibración de las toberas e incertidumbre 0,2%

Medios de Verificación	Aire						
	1712102	1712141	1710140	170958	180175	180132	180121
Nro. Serial de Toberas	1712102	1712141	1710140	170958	180175	180132	180121
Inspección de Aspecto	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme
Diámetro de la garganta de la tobera "d"	2.720 mm	1.500 mm	1.220 mm	0.969 mm	0.278 mm	0.220 mm	0.176 mm
Coefficiente de flujo "C <sub>d</sub> "	0.9756	0.9435	0.9468	0.9352	0.9304	0.9176	0.9067
Repetibilidad	0.01%	0.03%	0.01%	0.03%	0.05%	0.02%	0.03%
Incertidumbre extendida relativa "U <sub>rel</sub> " basada de "C <sub>d</sub> "	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%
Número de Reynold "Re <sub>d</sub> " bajo condición de verificación	3.67x10 <sup>4</sup>	2.02x10 <sup>4</sup>	1.65x10 <sup>4</sup>	1.31x10 <sup>4</sup>	3.76x10 <sup>3</sup>	2.98x10 <sup>3</sup>	2.37x10 <sup>3</sup>
Relación de presión trasera	0.63	0.57	0.56	0.55	0.38	0.39	0.39

Fuente Metroil

El banco de toberas con el cual contamos contiene 7 toberas cada una con caudales definidos tal como se aprecia en la tabla 6

Tabla 6 Valor de las Toberas

ID	Q / (L/h)
1	4000
2	120
3	800
4	500
5	40
6	25
7	16

Fuente: Elaboración Propia

➤ **Transmisor de Presión**

Los transmisores de presión esta colocados estratégicamente acorde al diseño del banco de toberas, el primero se encuentra ubicado al ingreso del banco, el segundo al ingreso de las toberas y a la salida de medidores a calibrar, estas mediciones son tomadas durante la prueba de calibración y son de vital importancia para el cálculo del error del medidor de medición electrónica de flujo de gases.

El banco de toberas usa transmisores de presión absoluta y estas deben cumplir una clase 0,02% en base a la norma metrológica peruana NMP-016, el transmisor más el sensor deben tener 1% de error desde el fondo de escala hasta la escala menor de 1200 mbar, todos estos requerimientos técnicos de pueden apreciar en el anexo 1 donde está la ficha técnica.

➤ **Transmisor de Temperatura**

Los transmisores de temperatura son colocados al inicio y a la salida del banco de toberas y un tercer transmisor al ingreso de las toberas de flujo crítico, en el desarrollo del proceso de calibración se va censando las temperaturas de los 3 transmisores para que al final del proceso de la medición se tome como referencia el promedio de las lecturas y esta se utiliza es de vital importancia para el cálculo de error del medidor de medición electrónica de flujo de gases.

Los transmisores deben cumplir con los requerimientos básicos como una resolución mínima de 0,1°C y tener una exactitud de clase B o mejor, todo se puede apreciar en la ficha técnica en el anexo 2.

➤ **Reloj (Oscilador de Cristal de Cuarzo)**

El tiempo es fundamental, en el proceso de la calibración puesto que los caudales tomados en el alcance del medidor que pueden ser 3,4 o 5 puntos, cada caudal manejan periodos de ensayo diferentes y el tiempo de inicio y final del ensayo es utilizado para determinar el volumen que pasó por las toberas al momento de la calibración.

En la tabla 7 se puede apreciar los requisitos mínimos de los equipos utilizados en el banco de toberas, así como la resolución e incertidumbre.

Tabla 7 Requisitos mínimos de los instrumentos usados para la calibración

Mensurando	Volumen de referencia	Volumen del medidor bajo prueba
Presión del aire	$r \leq 0,1 \text{ mbar}$	$r \leq 0,1 \text{ mbar}$
	$U \leq 0,1 \text{ mbar}$	$U \leq 0,1 \text{ mbar}$
Relación de presión crítica	$r \leq 10 \text{ mbar}$	
	$U \leq 10 \text{ mbar}$	
Temperatura del aire	$r \leq 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$	$r \leq 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$
	$U \leq 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$	$U \leq 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Humedad del aire	$r \leq 0,5 \%$	$r \leq 0,5 \%$
	$U \leq 4 \%$	$U \leq 4 \%$
Tiempo	$r \leq 0,01\text{s}$	
	$U \leq 1 \times 10^{-4}$	
Caudal de ensayo	$r \leq 0,1 \text{ L/h}$ ( $16 \text{ L/h} \leq Q \leq 75 \text{ L/h}$ ) $r \leq 1 \text{ L/h}$ ( $75 \text{ L/h} \leq Q \leq 650 \text{ L/h}$ ) $r \leq 10 \text{ L/h}$ ( $650 \text{ L/h} \leq Q \leq 6500 \text{ L/h}$ )	
	$U \leq 5 \%$	

Fuente: PV-008 INACAL



➤ **Periodo de Calibración**

Todos los instrumentos que componen el banco de toberas de flujo crítico automatizado deben tener un periodo de calibración recomendado por el fabricante o por una entidad Nacional de tal manera INACAL en su procedimiento PV-008 nos recomienda los tiempos en cuantos a los componentes tal como se detalla en la tabla 8

Tabla 8 Recomendación de periodos de calibración

<b>Instrumento</b>	<b>Periodo</b>	<b>Actividad</b>
Transmisor de Temperatura	1 año	calibración
Transmisor de Presión Diferencial	1 año	calibración
Transmisor de presión Relativa	1 año	calibración
Transmisor de presión absoluta	1 año	calibración
Transmisor de humedad	1 año	calibración
Base de tiempo	1 año	verificación
Toberas de flujo	3 años	calibración
Banco de toberas	1 año	caracterización

Fuente: PV-008, INACAL

### 3.2.4 Modelo Matemático del Procedimiento

#### 3.2.4.1 Diagrama del desarrollo de la validación matemática

En la figura 15 podemos observar el diagrama del desarrollo de la validación matemática del procedimiento de calibración basado en la norma ISO 17025.

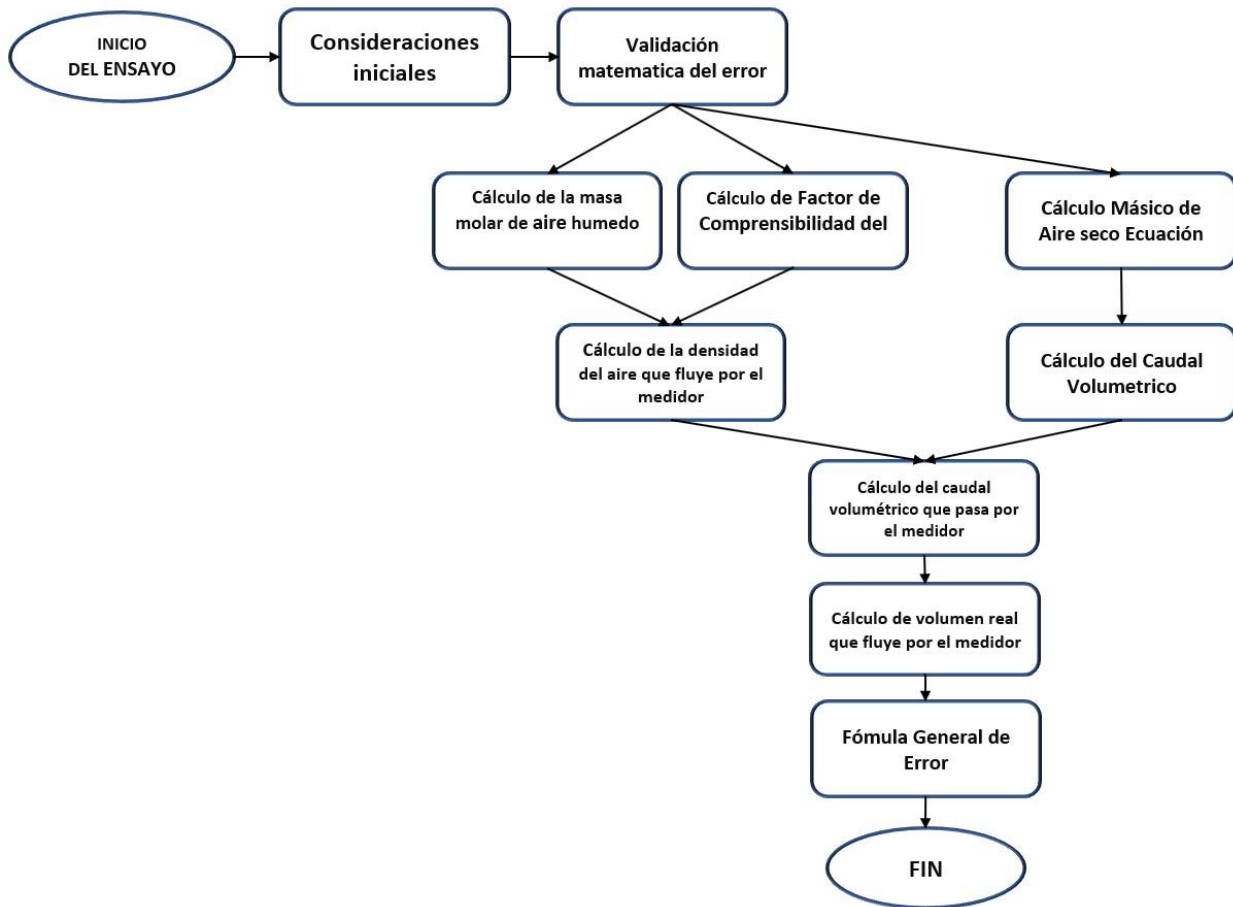


Figura 15 Diagrama de Fases del desarrollo del modelo matemático

Fuente Propia

### 3.2.4.2 Condiciones Iniciales

Antes de iniciar cualquier calibración se deben cumplir ciertos parámetros importantes para que no se afecta la medición al momento de calibración los cuales se detallaran a continuación

La temperatura del aire que rodea al sistema de medición debe ser uniforme y estable en el tiempo y en el espacio, de la misma manera Debe evitarse la exposición directa de fuentes de luz natural (radiación solar) y artificial, las luminarias deberán encontrarse a una distancia mayor a 1 m de cualquier medidor bajo prueba o del banco de toberas o caso contrario deberán permanecer apagadas durante el ensayo.

- No puede haber una variación de mayor igual a 2 °C cuando se realice la prueba de calibración esto afectaría las mediciones, lo recomendable es repetir la prueba.
- Las condiciones deben ser uniformes durante el proceso de la calibración tal como se aprecia en la tabla 9

Tabla 9 Condiciones uniformes durante la calibración.

Magnitud	Valores de Referencia
Tempertura ambiente promedio	17°C a 25 °C
Variación de Temperatura Ambiente	≤ 2°C / 8h
Variacion de temperatura ambiente promedio	≤ 1°C/h
Presión Ambiente	860 mbar - 1060 mbar
Variación de Presión ambiente durante el ensayo	± 5 mbar

Fuente: Propia:

- Los medidores que pasaran por la prueba de calibración deben estar almacenados en ambiente controlados de temperatura y humedad al menos 5 horas antes de su ensayo.

### 3.2.4.3 Validación Matemática del Error

Se procederá a calibrar un medidor de medición electrónica tipo diafragma de tamaño G 1.6 y clase de 1,5 en su caudal máximo de 2.5 m<sup>3</sup>/h utilizando un banco de toberas de flujo crítico usado como patrón y aire atmosférico como fluido de ensayo.

Para poder realizar la calibración debemos realizar un arreglo de toberas para poder llegar al caudal descrito:

Se usarán las toberas 2,3 y 4 donde la sumatoria de las toberas llega al caudal de 2.5 m<sup>3</sup>/h necesario para la calibración, las toberas cuentan con valores fijos de caudal tal como se aprecia en la tabla 10 y esto se da cuando se genera un flujo crítico al momento de la prueba y viene normado bajo la ISO 9300-2005

Tabla 10 Datos del Certificado de la Calibración de las toberas

# Tobera	Caudal nominal(m <sup>3</sup> /h)	d <sub>nt</sub> (m)	C <sub>d'</sub>
1	4,000	2,720E-03	0,9756
<b>2</b>	<b>1,200</b>	<b>1,500E-03</b>	<b>0,9435</b>
<b>3</b>	<b>0,800</b>	<b>1,220E-03</b>	<b>0,9468</b>
<b>4</b>	<b>0,500</b>	<b>9,690E-04</b>	<b>0,9352</b>
5	0,040	2,780E-04	0,9304
6	0,025	2,200E-04	0,9176
7	0,016	1,760E-04	0,9067

Fuente: Manual del Fabricante

K es una constante de la relación pulsos a volumen de los medidores de gas tipo diafragma.

$$K = 0,1 \text{ p/L}$$

Los resultados de la medición obtenidos por el software Test Management, son los siguientes:

Tabla 11 Resultados Obtenidos de la medición mediante el banco de toberas 1

Test point	Test time [s]	Humidity [%]	Container pressure [kPa]	Container temperature [°C]	Meter pressure [kPa]	Meter temperature [°C]	Meter volume [L]
Q máximo	296,5708	62,920748	98,068557	18,786837	99,633853	18,818593	200

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12 Resultados Obtenidos de la medición mediante el banco de toberas 2

Test point	Humidity	Container pressure [Pa]	Container temperature [K]	Meter pressure [Pa]	Meter temperature [K]
Q máximo	0,62920748	98068,557	291,936837	99633,853	291,968593

Fuente: Elaboración Propia

Primero se determinará la densidad del aire que fluye por el medidor a calibrar ( $\rho_{\text{medidor}}$ ) la cual está determinado por la ecuación (7):

Para ello calculamos:

$$\rho_{\text{medidor}} = \frac{p}{z \left( \frac{R}{M} \right) T} \quad (7)$$

Se tiene que hallar el valor de todas las variables para luego reemplazarla en la fórmula de la densidad del aire tal como se ve a continuación:

Cálculo de la masa molar del aire húmedo que fluye en el medidor en kg/mol de la Ecuación (8):

$$M = M_a \times (1 - X_v) + M_v \times X_v \quad (8)$$

$$M = 0,02896546 \times (1 - 0,013779) + 0,01801528 \times 0,013779$$

$$M = 0,028815$$

Hallando factor de Fugacidad determinada por la ecuación (10):

$$f = 1,00062 + 3,14E - 08 \times 99633,853 + 5,60E - 07 \times 18,818593^2 \quad (10)$$

$$f = 1,003947$$

Hallando Presión de vapor Saturado de la ecuación (11):

$$p_{sv} = 1Pa * \exp \left( A_1 T^2 + B_1 T + C_1 + \frac{D_1}{T} \right) \quad (11)$$

$$p_{sv} = 1Pa * \exp \left( 1,2378847E - 05 \times 291,968593^2 + 1,9121316E - 02 \times 291,968593 + 3,393711047E + 01 + \frac{-6,3431645E + 03}{291,968593} \right)$$

$$p_{sv} = 2173,353972$$

Hallando Fracción molar de vapor de agua de la ecuación (9):

$$X_v = \frac{hfp_{sv}}{p} \quad (9)$$

$$X_v = \frac{0,62920748 \times 1,003947 \times 2173,353972}{99633,853}$$

$$X_v = 0,013779$$

Hallando el Factor de compresibilidad del aire de la ecuación (12):

$$Z = 1 - pT^{-1}[a_0 + a_1t + a_2t^2 + (b_0 + b_1t)X_v + (c_0 + c_1t)X_v^2] + p^2T^{-2}(d + eX_v^2) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} Z = 1 - 99633,853 \times 291,968593^{-1} & [1,58123E - 06 \pm 2,9331E - 08 \times 18,818593 \\ & + 1,1043E - 10 \times 18,818593^2 \\ & + (5,707E - 06 \pm 2,051E - 08 \times 18,818593)0,013779 \\ & + (1,9898E - 04 \pm 2,376E - 06 \times 18,818593)0,013779^2] \\ & + 99633,853^2 \times 291,968593^{-2}(1,83E - 11 \pm 7,65E - 09 \times 0,013779^2) \end{aligned}$$

$$Z = 0,999602$$

Cálculo de la densidad del aire que fluye por el medidor a calibrar en kg/m<sup>3</sup>

Reemplazando los valores de las variables antes obtenidas en la fórmula

$$\rho_{\text{medidor}} = \frac{p}{z\left(\frac{R}{M}\right)T} \quad (7)$$

$$\rho_{\text{medidor}} = \frac{99633,853}{0,999602 \left(\frac{8,31451}{0,028815}\right) 291,968593}$$

$$\rho_{\text{medidor}} = 1,183111$$

Para calcular el caudal másico de aire atmosférico que fluye por el medidor a calibrar se tiene que hallar el caudal másico del aire seco primero está determinada por la ecuación (5)

$$Q_{m,dryCO_2\text{free}} = \frac{A_{nt}C_d C_* p_0}{\sqrt{\left(\frac{R}{M_a}\right)T_0}} \quad (5)$$

Para el cálculo de A y B usamos las variables de la ecuación (6)

$$\tau = \frac{T_0}{T_c} ; \pi = \frac{p_0}{p_c} \quad P_c = 3,786 \text{ MPa}$$

$$T_c = 132,5306 \text{ K}$$

$$A = 0,127828\tau^3 - 0,789422\tau^2 + 1,63166\tau - 1,12818$$

$$A = 0,127828 \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^3 - 0,789422 \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^2 + 1,63166 \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right) - 1,12818$$

$$A = 0,001822.$$

$$B = -0,000288749\pi^2 - 0,00191022\pi + 0,00569536 - 0,0719995/\pi$$

$$B = -0,000288749 \left( \frac{98068,557}{3,786E+06} \right)^2 - 0,00191022 \left( \frac{98068,557}{3,786E+06} \right) + 0,00569536 - 0,0719995 / \left( \frac{98068,557}{3,786E+06} \right)$$

$$B = -2,773942.$$

Para el cálculo de la función de flujo crítico usaremos la ecuación (6) así mismo, usaremos la tabla 13 para reemplazar los coeficientes y hallar  $C_*$ .

$$C_* = \sum_i^n a_i \pi^{b_i} \tau^{c_i} \quad (6)$$



Tabla 13 Coeficiente de la ecuación del aire seco

i	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	c <sub>i</sub>
1	1,96794791E-02	0	-3
2	-2,77441435E-02	0	-1
3	7,03190683E-01	0	0
4	-3,44841143E-03	0	1
5	-1,13593977E-01	1	-7
6	1,50732595E-01	1	-3
7	-2,40345497E-03	1	0
8	1,22463176E-06	1	3
9	-3,06438830E-03	2	-2
10	2,11628554E-01	2,5	-8
11	5,12880207E-05	2,5	0
12	-1,66668729E-06	3	1
13	-6,55405214E-02	3,5	-8
14	1,39083140E-02	4	-8

Fuente ISO 9300, 2005

Cálculo de C de la ecuación (6) y de los valores de la tabla 13 se encuentra en el anexo 5:

$$C_* = 0,685132$$

Cálculo del caudal másico de aire seco que fluye por el medidor a calibrar en kg/h. para el caudal 2.5 m<sup>3</sup>/h, se utilizan las toberas 2, 3 y 4.

$$q_{m,dryCO_2free} = \frac{p_i/4 \times d_{nt}^2 C_d C_* p_0}{\sqrt{\left(\frac{R}{M_a}\right) T_0}} \times 3600$$

Tobera 2:

$$q_{m,dryCO_2free} = \frac{p_i/4 \times (1,500E - 03)^2 \times 0,9435 \times 0,685132 \times 98068,557}{\sqrt{\left(\frac{8,31451}{0,02896546}\right) \times 291,936837}} \times 3600$$

$$q_{m,dryCO_2free} = 1.393151$$

Tobera 3:

$$q_{m,dryCO_2,free} = \frac{p^i/4 \times (1,220E - 03)^2 \times 0,9468 \times 0,685132 \times 98068,557}{\sqrt{\left(\frac{8,31451}{0,02896546}\right) \times 291,936837}} \times 3600$$

$$q_{m,dryCO_2,free} = 0,924808$$

Tobera 4:

$$q_{m,dryCO_2,free} = \frac{p^i/4 \times (9,690E - 04)^2 \times 0,9352 \times 0,685132 \times 98068,557}{\sqrt{\left(\frac{8,31451}{0,02896546}\right) \times 291,936837}} \times 3600$$

$$q_{m,dryCO_2,free} = 0,576270$$

Cálculo del caudal másico de aire atmosférico que fluye por el medidor a calibrar en kg/h. para el caudal 2.5 m<sup>3</sup>/h se utilizan las toberas 2, 3 y 4 y se utiliza la ecuación (4)

$$q_{m,atmos} = q_{m,dryCO_2-free} \times \left[ 1 + X_{CO_2} (0,25 + 0,04732\pi) + \frac{RH}{100} A. B \right] \quad (4)$$

Tobera 2:

$$q_{m,atmos} = 1,393151 \times \left[ 1 + 0,0004 \left( 0,25 + 0,04732 \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right) \right) + \frac{62,920748}{100} \times 0,001822 \times -2,773942 \right]$$

$$q_{m,atmos} = 1,388861$$

Tobera 3:

$$q_{m,atmos} = 0,924808 \times \left[ 1 + 0,0004 \left( 0,25 + 0,04732 \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right) \right) + \frac{62,920748}{100} \times 0,001822 \times -2,773942 \right]$$

$$q_{m,atmos} = 0,921960$$

Tobera 4:

$$q_{m,atmos} = 0,576270 \times \left[ 1 + 0,0004 \left( 0,25 + 0,04732 \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right) \right) + \frac{62,920748}{100} \times 0,001822 \times -2,773942 \right]$$

$$q_{m,atmos} = 0,574495$$

El caudal volumétrico que fluye por el medidor a calibrar en L/h está determinado por la siguiente ecuación (3):

$$q_v = \left( \sum q_{m,atmos} \right) \times 1000 \div \rho_{medidor} \quad (3)$$

$$q_v = (1,388861 + 0,921960 + 0,574495) \times 1000 \div \rho_{medidor}$$

$$q_v = 2438.753422$$

Cálculo del volumen real de aire que pasa a través del Medidor Bajo Prueba (MUT) en litros viene de la ecuación (2):

$$V_0 = \frac{\theta}{3600} \times q_v \quad (2)$$

$$V_0 = \frac{296,5708}{3600} \times 2438,753422$$

$$V_0 = 200,906404$$

Cálculo del error porcentual de la indicación del medidor de gas está dada por la ecuación (1) :

$$E_{p,i} = \frac{V_i - V_0}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

$$E_{p,i} = \frac{200 - 200,906404}{200,906404} \times 100$$

$$E_{p,i} = -0,45\%$$

### 3.2.4.4 Validación del cálculo de la incertidumbre

Se procederá a realizar la validación del cálculo de incertidumbre del medidor de medición electrónica tipo diafragma en su caudal de 2.5 m<sup>3</sup>/h de tamaño G1.6, en un banco de toberas de flujo crítico usado como patrón y el aire atmosférico como fluido de ensayos.

Para el cálculo de incertidumbre total intervienen todos los equipos que componen el banco de toberas tal como se ve en la tabla 4, así mismo, se usó los certificados de calibración de los instrumentos para poder obtener la incertidumbre expandida que luego fue transformada a incertidumbre estándar tal como se parecía en la tabla 14

Se usa la ecuación 13 para poder calcular la incertidumbre combinada de todos los aportantes de la medición al momento de la calibración.

$$u(C) = \sqrt{u^2(I_M) + u^2(I_t) + u^2(I_{t+1}) + u^2(I_{p+1}) + u^2(\Delta T) + u^2(t_{res}) + u^2(I_H) + u^2(I_A)} \quad (13)$$

$$u(C) = \sqrt{(0,098)^2 + (0,175)^2 + (0,06)^2 + (0,04)^2 + (0,02)^2 + (0,01)^2 + (0,065)^2 + (2,4 \times 10^{-4})^2}$$

$$u(C) = 0,224838589$$

Para luego calcular la incertidumbre expandida que se usará para reportar en el certificado de calibración y solo se hará con 2 cifras significativas.

$$U = u(C) \times K$$

$$U = 0,224838589 \times 2$$

$$U = 0,4496771772$$

$$U = 0,45$$

Tabla 14 cálculo de incertidumbre de los aportantes de la medición

Fuente de Incertidumbre Nombre de la variable	Variable de entrada $X_i$ símbolo	Estimado $x_i$	Incertidumbre estándar $u(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Distribución de probabilidad / Método de evaluación (A, B)	Contribución de Incertidumbre %
Variación de lecturas	$u(I_M)$	0,17	0,0981	1	Rectangular,A	19,1
Toberas	$u(I_t)$	0,35	0,175	1	Normal,B	60,6
Sensores de Temperatura	$u(I_{t+1})$	0,1260	0,063	1	Normal,B	7,9
Sensores de Presión	$u(I_{p+1})$	0,08	0,04	1	Normal,B	3,2
Variación de temperatura	$u(I_{\Delta T})$	0,04	0,02	1	Rectangular,A	0,8
Resolución	$u(I_{RES})$	0,02	0,01	1	Rectangular,A	0,2
Sensor Higrometro	$u(I_h)$	0,13	0,065	1	Normal,B	8,4
Densidad del Aire	$u(I_A)$	0,00048	0,00024	1	Rectangular,A	0,0
<b>Incertidumbre estándar combinada</b>						0,22
<b>Incertidumbre Expandida (k = 2)</b>						0,45
<b>Caudal/ (m<sup>3</sup>/h)</b>						2,45
<b>Error/ %</b>						-0,45

Fuentes Propia

### **3.3 RESULTADOS**

La empresa METROIL con el procedimiento de equipos de medición electrónica de flujo de gases, Se estaría posicionando como empresa líder en brindar en laboratorios de clase 2 en brindar servicio de soluciones en metrología e ingeniería después de INACAL.

METROIL ya cuenta con acuerdos con la empresa Cálidda para poder realizar los servicios de calibración de los medidores que ya vienen siendo usados en el Área Residencial y Comercial, que en la actualidad ya superan el millón de medidores, lo cual, en términos económicos en un beneficio sustancial para la empresa, pero se encuentran en un ámbito privado.

#### **3.3.1 Procedimiento de Calibración medición de flujo de gases en Lima – Perú**

Realizando un estudio sobre todos los procedimientos existentes en Lima – Perú sobre calibración de equipos de medidores de flujo de gases bajo la norma ISO 17025, no se encontró ninguno existente, siendo METROIL el pionero en el avance de un procedimiento bajo esta norma.

Actualmente INACAL cuenta con el procedimiento PV-008 Para verificar medidores de gases tipo diafragma, pero al ser una entidad estatal y no una empresa conformada como unidad de negocio no puede ofrecer el servicio a Calidda en las verificaciones iniciales o posteriores de los medidores ya instalados desde el 2014.

La empresa CONTRASTE E.I.R.L está conformada como un organismo de Inspección, cuenta con un procedimiento como lo pueden ver en la tabla 15 propio para realizar la verificación inicial y posterior de medidores de gases. Pero al contar con un alcance de acreditación muy reducido, se deja de lado a otros medidores con mayor alcance de trabajo

Tabla 15 Procedimiento de Verificación Empresa Contraste E.I.R.L

Medidores de gas de uso residencial de tipo Diafragma con intervalo de medición de 0.016m <sup>3</sup> a 2,5m <sup>3</sup> Clase de exactitud: 1.5 (Medidores con designación G1.6)	Verificación Inicial en laboratorio	PTB L -002C Versión 2 Procedimiento de Inspección en Laboratorio de medidores de gas	NMP-016:2012 Medidores de Gas 5.3.4:5.4
	Verificación Posterior en laboratorio	PTB L -002C Versión 2 Procedimiento de Inspección en Laboratorio de medidores de gas	NMP-016:2012 Medidores de Gas 5.3.4:5.4

Fuente: Portal Web INACAL

METROIL como empresa privada genera un aporte a la investigación en el Perú en el desarrollo de procedimientos acreditados, generando una contribución a entidades reguladoras como Osinerming, así mismo, brinda las garantías en la calidad de medición, para proteger al consumidor final, de esta manera se tiene el procedimiento que se puede apreciar en la Tabla 16 con un mayor alcance y bajo la norma ISO 17025.

Tabla 16 Procedimiento de Calibración de equipos de medición de gases METROIL

Medidores de gas de uso residencial de tipo Diafragma con intervalo de medición de 0.016m <sup>3</sup> a 6,5m <sup>3</sup> Clase de exactitud: 1.5 (Medidores con designación G1.6)	Calibración de medidores de medición electrónica de flujo de gases en laboratorio	PC-MT-XX Versión 1 Procedimiento de Calibración de equipos medición electrónica de flujo de gases en un banco de toberas automatizado	NMP-016:2012 Medidores de Gas 5.3.4:5.4
---	---	--	---

Fuente: Propia

Como se puede apreciar en la tabla 17 de todos los clientes que cuenta Calidda en el año 2020, se cuenta con casi un millón de instalaciones de gases domiciliarias, sin que se pueda realizar una calibración con la finalidad de conocer el estado de los medidores, pero al contar con un banco automatizado de 12 canales se realizara el servicio de manera rápida y eficiente.

Tabla 17 Conexiones de Calidda en los últimos años

N° de Clientes	2017	2018	2019	jun-20
Generación	22	23	25	25
Industrial	577	626	670	680
Estación de GNV	257	275	279	280
Residencial y Comercial	575957	760292	951708	986993
Total	576813	761214	952682	987978

Fuente: Pag Web la República

### 3.3.2 Requisitos técnicos según la norma metrológica peruana e INACAL.

Se cumple con todos los requisitos Técnicos bajo la norma metrológica peruana e INACAL para el desarrollo del procedimiento y se detalla a continuación.

Como se puede apreciar en la Tabla 6, nos dice todos los valores referenciales mínimo que debe cumplir los instrumentos

- Para Presión del aire requerimiento  $r \leq 0,1$  mbar;  $U \leq 0,1$  mbar

El Transmisor Marca ANGYU cumple con los requisitos mínimo de la resolución e incertidumbre tal como se aprecia en la tabla 18

Tabla 18 Resultados de Calibración del Transmisor de Presión Marca ANGYU

Indicación Instrumento Patrón ( kPa )	Indicación Instrumento a Calibrar		Error			Incertidumbre ( kPa )
	Ascenso ( kPa )	Descenso ( kPa )	de Indicación		de Histéresis ( kPa )	
			Ascenso ( kPa )	Descenso ( kPa )		
9,980	9,719	9,731	-0,261	-0,249	0,012	0,010
19,957	19,739	19,738	-0,218	-0,219	-0,001	0,001
29,933	29,783	29,778	-0,150	-0,155	-0,005	0,004
39,910	39,820	39,828	-0,090	-0,082	0,008	0,007
49,887	49,864	49,867	-0,023	-0,020	0,003	0,003

Fuente: Metroil



- Relación de Presión crítica requerimiento  $r \leq 10 \text{ mbar}$ ;  $U \leq 10 \text{ mbar}$   
El Transmisor JUMO modelo DTRANS P30 cumple los requisitos mínimos de resolución e incertidumbre tal como se ve en la tabla 19

Tabla 19 Resultados de Calibración del Transmisor de Presión Marca JUMO

Indicación Instrumento Patrón ( kPa )	Indicación Instrumento a Calibrar		Error			Incertidumbre ( kPa )
	Ascenso ( kPa )	Descenso ( kPa )	de Indicación		de Histéresis ( kPa )	
			Ascenso ( kPa )	Descenso ( kPa )		
9,980	9,805	9,780	-0,175	-0,200	-0,025	0,020
19,957	19,754	19,716	-0,203	-0,241	-0,038	0,031
29,933	29,707	29,668	-0,226	-0,265	-0,039	0,032
39,910	39,670	39,631	-0,240	-0,279	-0,039	0,032
49,887	49,627	49,598	-0,260	-0,289	-0,029	0,024

Fuente: Metroil

- Temperatura del aire Requerimiento  $r \leq 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $U \leq 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$   
El Transmisor de Temperatura Marca JUMO modelo 707031/990-001-055/000 cumple los requisitos mínimos de resolución e incertidumbre tal como se aprecia en la tabla 20.

Tabla 20 Resultados de Calibración del Transmisor de Temperatura Marca JUMO

INDICACION DEL TERMOMETRO ( $^\circ\text{C}$ )	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA ( $^\circ\text{C}$ )	CORRECCION ( $^\circ\text{C}$ )	INCERTIDUMBRE ( $^\circ\text{C}$ )
9,91	9,996	0,086	0,042
19,94	19,999	0,059	0,043
29,96	29,991	0,031	0,044

Fuente: Metroil

- Humedad del aire requerimiento  $r \leq 0,5\% r$ ;  $U \leq 4\%$   
El Higrómetro Marca VECTOR modelo SRC-H1T1 cumple con todos los requisitos mínimos de resolución e incertidumbre tal como se aprecia en la tabla 21

Tabla 21 Resultados de Calibración del Higrómetro Marca VECTOR

INDICACIÓN DEL HIGRÓMETRO (%hr)	HUMEDAD RELATIVA CONV. VERDADERA (%hr)	CORRECCIÓN (%hr)	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN (%hr)
16,70	10,00	-6,70	0,87
38,60	30,00	-8,60	0,77
59,70	49,99	-9,71	0,96
78,78	70,00	-8,78	1,30

Fuente: Metroil

- Tiempo requerimiento  $r \leq 0,01s$ ;  $U \leq 1 \times 10^{-4}$

El Oscilador de Cristal de Cuarzo cumple con todos los requisitos mínimos de resolución e incertidumbre tal como se ve en la tabla 22

Tabla 22 Resultado del Oscilador de Cristal de Cuarzo

Nombre	Alcance de Medición	Incertidumbre/Clase de Exactitud/Error Max. Permissible
Patrón de Frecuencia de Átomo de Rubidio	(1, 5, 10) MHz	$5 \times 10^{-11}$
Contador Universal	0.03Hz a 100MHz	$3 \times 10^{-8}$

Fuente: Metroil

- Toberas de flujo crítico requerimiento  $U \leq 0,3\%$

Las toberas de Flujo Crítico cuentan con una incertidumbre de 0,2 cumpliendo los requisitos mínimos y se puede apreciar en la Tabla 3

### 3.3.3 Validación del procedimiento cumpliendo el tercio de la Incertidumbre

Para la validación del tercio de la incertidumbre mínima que se debe reportar en un certificado de calibración, se realizó pruebas de bilateral con INACAL con 6 medidores para ver la compatibilidad de nuestros resultados tanto en el cálculo del error e incertidumbre expandida.

Para medidores de clase G 1.6 de series 351180109009, 35118010917 y 35118010924 se obtuvieron estos resultados que se pueden apreciar en las siguientes tablas.

Tabla 23 Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351180109009

MDR	Q [m <sup>3</sup> /h]	E <sub>INACAL</sub> [%]	E <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	U <sub>INACAL</sub> [%]	U <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	E <sub>N</sub>
MEDIDOR 1 (351180109009) (F)	2,5	-0,45	-0,58	0,4	0,45	0,2
	0,5	-0,49	-0,60	0,4	0,45	0,2
	0,016	-3,97	-3,98	0,55	0,90	0,0

Fuente: Metroil

Tabla 24 Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351180109017

MDR	Q [m <sup>3</sup> /h]	E <sub>INACAL</sub> [%]	E <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	U <sub>INACAL</sub> [%]	U <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	E <sub>N</sub>
MEDIDOR 2 (351180109017) (H)	2,5	-0,26	-0,19	0,45	0,45	0,1
	0,5	-0,30	-0,03	0,45	0,45	0,4
	0,016	-1,08	-0,85	0,60	0,90	0,2

Fuente: Metroil

Tabla 25 Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351180109024

MDR	Q [m <sup>3</sup> /h]	E <sub>INACAL</sub> [%]	E <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	U <sub>INACAL</sub> [%]	U <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	E <sub>N</sub>
MEDIDOR 3 (351180109024) (K)	2,5	-0,04	-0,09	0,45	0,45	0,1
	0,5	-0,05	0,18	0,45	0,45	0,4
	0,016	-0,48	-0,92	0,60	0,90	0,4

Fuente: Metroil

Para medidores de clase G 4 de series 351907890116, 351907890118 y 351907890123 se obtuvieron estos resultados que se pueden apreciar en las siguientes tablas.

Tabla 26 Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351907890116

MDR	Q [m <sup>3</sup> /h]	E <sub>INACAL</sub> [%]	E <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	U <sub>INACAL</sub> [%]	U <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	E <sub>N</sub>
MEDIDOR 4 (351907890116) (5)	6	-0,36	-0,52	0,4	0,45	0,3
	1,2	0,53	0,75	0,4	0,45	0,4
	0,04	0,56	0,34	0,55	0,70	0,3

Fuente: Metroil

Tabla 27 Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351907890118

MDR	Q [m <sup>3</sup> /h]	E <sub>INACAL</sub> [%]	E <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	U <sub>INACAL</sub> [%]	U <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	E <sub>N</sub>
MEDIDOR 5 (351907890118) (9)	6	0,24	-0,12	0,45	0,45	0,6
	1,2	0,62	0,70	0,45	0,45	0,1
	0,04	0,39	0,68	0,60	0,70	0,3

Fuente: Metroil

Tabla 28 Resultados Obtenidos Bilateral con INACAL Medidor serie 351907890123

MDR	Q [m <sup>3</sup> /h]	E <sub>INACAL</sub> [%]	E <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	U <sub>INACAL</sub> [%]	U <sub>BCO_LAB.</sub> [%]	E <sub>N</sub>
MEDIDOR 6 (351907890123) (2)	6	-0,04	0,59	0,45	0,45	1,0
	1,2	0,82	0,93	0,45	0,45	0,2
	0,04	0,28	0,34	0,60	0,70	0,1

Fuente: Metroil

Donde:

- MDR : Medidor de Diafragma de Referencia
- Q : Caudal de Ensayo
- E<sub>N</sub> : Error Normalizado
- E<sub>INACAL</sub> : Error del MDR, obtenido por INACAL
- E<sub>METROIL</sub> : Error del MDR, obtenido por METROIL
- U<sub>INACAL</sub> : Incertidumbre de la medición, obtenido por INACAL
- U<sub>METROIL</sub> : Incertidumbre de la medición, obtenido por METROIL

Con las tablas de las bilaterales de los 6 medidores y considerando los resultados podemos decir que el procedimiento y cálculo de incertidumbre están validados dado que son compatibles con los resultados de INACAL y se cumple 1/3 de la incertidumbre del EMP, según lo establecido en la norma metrológica peruana NMP 016:2012.

### 3.3.4 Alcance de Medición del procedimiento de Calibración flujo de gases

Se definió el alcance de 0,016 m<sup>3</sup> a 6.5 m<sup>3</sup> en la cual se viene trabajando y realizando pruebas de calibración de equipos de manera interna, ya que contamos con 7 toberas tal como se puede apreciar en la Tabla 6 para cubrir el alcance descrito, la empresa que brinda el servicio actualmente tiene un alcance de 0,016 m<sup>3</sup> a 2.5 m<sup>3</sup> tal como se aprecia en la tabla 13 y no cubre todo el mercado peruano de medidores de gases.

INACAL viene homologando medidores de flujo de gases, solo los de Modelo G1.6 son los que tienen la posibilidad de realizar una verificación, pero los modelos G2.5, G4 y Rs/200 1 no cuentan con ningún procedimiento para calibrar o verificar lo cual afecta tanto a la Empresa Calidda, a las empresas importadoras y a los usuarios finales, en la tabla 2 se puede apreciar todos los medidores homologados hasta la actualidad y que METROIL brindara el servicio de calibración

Tabla 29 Medidores Homologados por INACAL

Marca	Modelo	Clase
Electrometal	EM-G1.6	1.5
	EM-G.2.5	
	EM-G4	
Goldcard Hihg Tech co ,Ltd	JK/G1.6	1.5
Itron	ACD G.1.6	1.5
	GALLUUS G4	
	GALLUS G2.5	
Metrex	G 1.6	1.5
	G 4	
Tecum	G 1.6	1.5
Pietro Fiorentini	Rs/200'1 LA	1.5

Fuente Pagina web INACAL

### 3.3.5 Validación del procedimiento Gerencia Técnica

La Gerencia Técnica validó el procedimiento de calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases en un banco de toberas automatizado bajo la norma ISO 17025 y se puede ver en el anexo 6, dado a los resultados satisfactorios de compatibilidad de error e incertidumbre de las 6 pruebas bilaterales con INACAL y esto se puede apreciar en el punto 3.3.3, así mismo, el procedimiento fue usado para la prueba de Inter comparación siendo METROIL el primer participante de la prueba para la obtención de la acreditación.

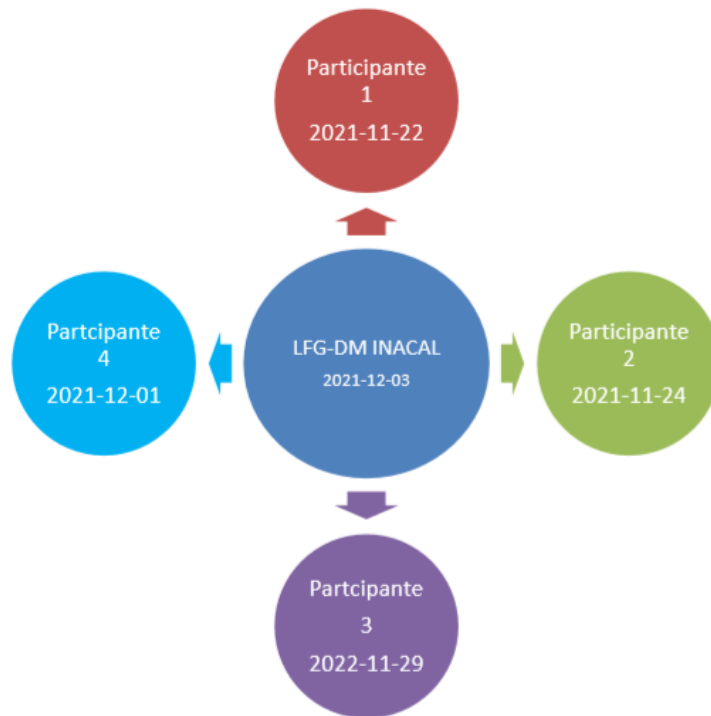


Figura 16 Participantes de la Inter comparación de medidores de gases

Fuente DM-LFG-04, INACAL

## CONCLUSIONES

- Se logró realizar un procedimiento bajo estándares internacionales como la ISO 17025, dado que en Lima – Perú no existe procedimiento acreditado de esta índole, además es una contribución a entidades reguladoras como Osinerming para que tenga herramientas para poder proteger a los usuarios finales.
- Se determinó bajo un análisis exhaustivo que cumplimos con todos los requerimientos técnicos que nos solicita la norma metroológica peruana NMP-016:2012 y la entidad INACAL para poder acreditarnos y brindar el servicio de calibración de medidores de medición electrónica de flujo de gases.
- Se logró analizar y validar el modelo matemático del cálculo de error y la incertidumbre realizando pruebas bilaterales con INACAL con 6 medidores electrónicos(sic) saliendo compatible en las 6 pruebas, y se cumplió el tercio de incertidumbre donde se obtuvo 0,45% requerido de por la norma metroológica peruana NMP-006: 2012 y esto se puede ver en las tablas 23,24 y 25.
- Se determinó el alcance de trabajo para el procedimiento de calibración de equipos de medición electrónica de flujo de gases a un caudal de 0,016 m<sup>3</sup> a 6.5 m<sup>3</sup> cumpliendo la norma de construcción 9300-2005 para un banco de toberas de flujo crítico.
- Se obtuvo la validación del procedimiento por parte de Gerencia Técnica dado a los resultados satisfactorios de las pruebas de bilaterales externas, así mismo, la empresa ya participo usando el procedimiento en el proceso de inter comparación para la acreditación bajo la norma ISO 17025.



## RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar estudios de toberas de flujo crítico para poder diseñar bancos de calibración de medidores de gases en el Perú, para llegar a menores incertidumbres de medición tal como la investigación *the primary Dynamic gravimetric system of gas más Flow measurement 2020*, donde se obtuvo incertidumbre de 0,036% para el cálculo de flujo másico de alta precisión para luego acreditarse bajo la norma ISO 17025, así mismo dado nuestra coyuntura sobre el alza del precio GLP en el mundo y la pronta masificación del gas en domiciliario, comercial e industrial, será necesario cubrir el mercado local con los servicios de calibración de medidores de gases.
- Para mejorar la construcción del banco de toberas y mejorar la incertidumbre de medición la investigación *Improvemet and uncertainty evaluati3n of mercury sealed piston prover using laser interferometer* nos dice que el uso de pistones de mercurio con sensores 3pticos mejoran los tiempos de cierre de las electrov3lvulas reduciendo significativamente la incertidumbre de medici3n, llegando a un 0,11% de incertidumbre expandida con un 95% de confianza de los resultados evaluado por la norma ISO 17025.
- Se sugiere la investigaci3n de los medios de campana prover para la calibraci3n de toberas de flujo cr3tico tal como la investigaci3n *Desing and simulation of automatic control valve for gas Flow meter calibrator of bell prover* donde nos explica la importancia del medio usado para la calibraci3n de las toberas y sobre las mejoras automatizadas del proceso, dado que en la actualidad para calibrar las toberas de flujo cr3tico se tendr3a que enviar al Zhejiang Province Institute of Metrology (China) o National Institute of Standards and Technology (EE. UU).

- Se recomienda utilizar este procedimiento como base para poder realizar nuevos estudios o procedimientos nuevos, como calibraciones de rotámetros de aire y campana de medida de caudal de aire, muy utilizado ahora en las oficinas y las universidades que se usa para circular el aire dentro de los espacios cerrados para evitar el contagio del Covid-19
- Se sugiere que Osinerming como organismo regulador utilice este procedimiento como medio para supervisar a empresas como Calidda para que brinden un servicio seguro y de calidad con el cobro de tarifas justas por el consumo de gas natural.

## BIBLIOGRAFÍA

- BP (2019). Statistical Review of World Energy 2019. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- Centro de Normalización Español UNE-NE -1359 (2018). Contadores de gas, Contadores de volumen de gas de membrana deformable. Retrieved from <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion>
- Hugo Silva Villanueva (2017) Plan de Negocios para la Contratación de medidores de Gas natural en Lima y Callao, y su impacto en la Calidad del Servicio Residencial. Universidad Esan, Retrieved from <https://repositorio.esan.edu.pe/handle/20.500.12640/1107>
- H, Choi & K, Park (2009) Improvement and uncertainty evaluation of mercury piston prover using laser interferometer, Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955598609000259>
- INACAL PV-008 (2017). Procedimiento para la verificación de medidores de gas tipo diafragma (Utilizando un Banco de toberas de flujo critico como Patrón). Revisado Agosto 30, 2021, from <https://ww.inacal.gob.pe/cid/categoria/procedimientos-de-calibracion>
- INACAL PV-013 (2019) Procedimiento para la verificación del banco de pruebas de medidores de gas tipo diafragma G1.6, G2.5 y G4, Banco de Toberas de Flujo Critico y Banco de Cámaras Húmedas. Revisado Agosto 30, 2021, from <https://ww.inacal.gob.pe/cid/categoria/procedimientos-de-calibracion>

INACAL PV-015 (2017). Procedimiento para la calibración de material volumétrico de vidrio y plástico. Revisado Octubre 15, 2021, from <https://ww.inacal.gob.pe/cid/categoria/procedimientos-de-calibracion>

ISO 9300 (2005) Medida de Caudal de Gas por medio de Toberas Venturi en régimen crítico. Revisado Septiembre 16, 2021, from <https://www.iso.org/standard/34272.html>

ISO/IEC 17025 (2017) Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de ensayo y Calibración. Revisado Septiembre 10, 2021, from <https://www.isotools.org/normas/calidad/iso-iec-17025/>

J, Ahmad & L, Kozlava (2006) Design and simulation of automatic control valve for gas flow meter calibrator of bell prover. IEEE Conference of Russian Young Electronic Engineering, from [https://www.researchgate.net/publication/323860589\\_Design\\_and\\_simulation\\_of\\_automatic\\_control\\_valve\\_for\\_gas\\_flow\\_meter\\_calibrator\\_of\\_bell\\_prover](https://www.researchgate.net/publication/323860589_Design_and_simulation_of_automatic_control_valve_for_gas_flow_meter_calibrator_of_bell_prover)

K, Imamura & O, Horinouchi (2020). The primary Dynamic Gravimetric System for gas mass flow measurement 2020. from [https://www.researchgate.net/publication/341428718\\_The\\_primary\\_dynamic\\_gravimetric\\_system\\_for\\_gas\\_mass\\_flow\\_measurement](https://www.researchgate.net/publication/341428718_The_primary_dynamic_gravimetric_system_for_gas_mass_flow_measurement).

Norma Metrológica Mexicana PROY-NOM-014-SDFI (2017). Medidores de desplazamiento positivo tipo diafragma para gas natural o gasolina en estado gaseoso – Especificaciones, métodos y prueba de verificación. Revisado Septiembre 02, 2021, from <https://vlex.com.mx/vid/proyecto-norma-oficial-mexicana-846740223>

Norma Metrológica Peruana NMP- 016 (2012) Requisitos Metrológicos, Técnicos y ensayos de funcionamiento. Revisado Septiembre 1 , 2021, from [https://www.inacal.gob.pe/inacal/files/metrologia/normas-metrologicas-peruanas/NMP\\_016\\_2012-1.pdf](https://www.inacal.gob.pe/inacal/files/metrologia/normas-metrologicas-peruanas/NMP_016_2012-1.pdf)

OIML R-137-1&2 (2012). Parte 1: Requisitos Metrológicos y técnicos para contadores de gases, Parte 2: Controles Metrológicos y pruebas de rendimiento para contadores de gases. Revisado Agosto 28, 2021, from [https://www.oiml.org/en/files/pdf\\_r/r137-1-2-e12.pdf](https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r137-1-2-e12.pdf)

Pérez Hernández Mar (2012). Estimación de las incertidumbres GUÍA GUM. Retrieved from [https://www.uv.es/meliajl/Docencia/WebComplementarios/GuiaGUM\\_e\\_medida.pdf](https://www.uv.es/meliajl/Docencia/WebComplementarios/GuiaGUM_e_medida.pdf)

S. Davis, A. Picard CPIM (2006). Revised formula for the density of moist air Retrieved from <https://www.nist.gov/system/files/documents/calibrations/CIPM-2007.pdf>

VIM (2012). Vocabulario Internacional de Metrología, conceptos fundamentales y generales y términos asociados. Revisado Agosto 30, 2021, from <https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf>

# ANEXOS

## ANEXO 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN

### JUMO GmbH & Co. KG

Hausadresse: Moritz-Juchheim-Straße 1, 36039 Fulda, Germany  
Lieferadresse: Mackenrodtstraße 14, 36039 Fulda, Germany  
Postadresse: 36035 Fulda, Germany

Telefon: +49 661 6003-715

Telefax: +49 661 6003-606

E-Mail: mail@jumo.net

Internet: www.jumo.net



Typenblatt 404366

Seite 1/8

## JUMO dTRANS p30

### Druckmessumformer

#### Kurzbeschreibung

Druckmessumformer werden zur Erfassung von Relativ- und Absolutdrücken in flüssigen und gasförmigen Medien eingesetzt. Der Druckmessumformer arbeitet nach dem piezoresistiven- oder Dünnschicht-DMS-Messprinzip. Der Druck wird in ein elektrisches Signal umgewandelt.

Das Gerät ist in den Ausführungen mit den Prozessanschlüssen Klemmstutzen (Clamp) DN 25, 32, 40 und 50 sowie JUMO PEKA nach EHEDG zertifiziert.

#### Technische Daten

##### Referenzbedingungen

gemäß DIN 16086 und DIN 60770

##### Messbereiche

siehe Bestellangaben

##### Überlastungsgrenze

Messbereiche 0 bis 25 bar

3-facher Messendwert

Messbereiche „0 bis 40 bar“ bis zu „0 bis 250 bar“

2-facher Messendwert

Messbereiche „0 bis 400 bar“ bis zu „0 bis 600 bar“

1,5-facher Messendwert

##### Berstdruck

Messbereiche 0 bis 40 bar

≤ 4-facher Messendwert

Messbereiche „0 bis 60 bar“ bis zu „0 bis 100 bar“

8-facher Messendwert

Messbereiche „0 bis 160 bar“ bis zu „0 bis 400 bar“

5-facher Messendwert

Messbereiche 0 bis 600 bar

3-facher Messendwert

##### druckmittelberührte Teile

serienmäßig:

Edelstahl 316 Ti/316 L

bei Messbereich ≥ 60 bar:

Edelstahl 316 Ti/630

##### Ausgang

0 bis 20 mA, Dreileiter,

Bürde ≤ (U<sub>B</sub>-12 V) ÷ 0,02 A

4 bis 20 mA, Zweileiter,

Bürde ≤ (U<sub>B</sub>-10 V) ÷ 0,02 A

4 bis 20 mA, Dreileiter,

Bürde ≤ (U<sub>B</sub>-12 V) ÷ 0,02 A

0,5 bis 4,5 V, Bürde ≥ 50 kΩ

1 bis 6 V, Bürde ≥ 10 kΩ

0 bis 10 V, Bürde ≥ 10 kΩ

##### Bürdeneinfluss

< 0,5 % max.

##### Nullsignalabweichung

≤ 0,3 % MSP (Messspanne)

##### thermische Hysterese

≤ ± 0,5 % MSP

(im kompensierten Temperaturbereich)

≤ ± 1 % für die Messbereiche

0 bis 0,25 bar

0 bis 0,4 bar

0 bis 0,6 bar

##### Umgebungstemperatureinfluss

Im Bereich 0 bis 100 °C

(kompensierter Temperaturbereich)

für den Messbereich 0,25 und 0,4 bar

Nullpunkt: ≤ 0,03 %/K typisch,

≤ 0,05 %/K max.

Messspanne: ≤ 0,02 %/K typisch,

≤ 0,04 %/K max.

für Messbereiche ab 0,6 bar

Nullpunkt: ≤ 0,02 %/K typisch,

≤ 0,04 %/K max.



Typ 404366 mit Leitungsdose

Messspanne: ≤ 0,02 %/K typisch,  
≤ 0,04 %/K max.

Bei Grundtypergänzung 024:

Nullpunkt: ≤ 0,01 %/K

##### Kennlinienabweichung

≤ 0,5 % MSP (Grenzpunkteinstellung)

bei Grundtypergänzung 023:

≤ 0,2 % MSP (Grenzpunkteinstellung)

##### Hysterese

≤ 0,1 % MSP

##### Wiederholbarkeit

≤ 0,05 % MSP

##### Einstellzeit

bei Stromausgang  
(Ausgang 402, 405 oder 406):  
≤ 3 ms max.

bei Spannungsausgang  
(Ausgang 412, 415, 418 oder 420):  
≤ 10 ms max.

##### Stabilität pro Jahr

≤ 0,5 % MSP

# ANEXO 2: ESPECIFICACIONES TECNICA DEL TRASM DE TEMPERATURA

**JUMO GmbH & Co. KG**  
 Delivery address: Mackenrodtstraße 14,  
 36039 Fulda, Germany  
 Postal address: 36035 Fulda, Germany  
 Phone: +49 661 6003-0  
 Fax: +49 661 6003-607  
 e-mail: mail@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net

**JUMO Instrument Co. Ltd.**  
 JUMO House  
 Temple Bank, Riverway  
 Harlow, Essex CM20 2DY, UK  
 Phone: +44 1279 635533  
 Fax: +44 1279 635262  
 e-mail: sales@jumo.co.uk  
 Internet: www.jumo.co.uk

**JUMO PROCESS CONTROL INC.**  
 885 Fox Chase, Suite 103  
 Coatesville PA 19320, USA  
 Phone: 610-380-8002  
 1-800-554-JUMO  
 Fax: 610-380-8009  
 e-mail: info@JumoUSA.com  
 Internet: www.JumoUSA.com



## JUMO dTRANS T03 J, B, T Analog 2-wire transmitter with digital adjustment



dTRANS T03 J  
 Type 707030/...

## JUMO dTRANS T03 BU, TU Analog 3-wire transmitter with digital adjustment



dTRANS T03 B  
 Type 707031/...

for connection to Pt100 resistance thermometers  
 for installation in: - terminal head Form B to DIN EN 50446  
 - terminal head Form J  
 for mounting on: - mounting rail according to DIN EN 60715

### Brief description

These transmitters are designed for industrial applications and are used to measure the temperature through Pt100 resistance thermometers in 2-wire or 3-wire circuit connections (Pt500 or Pt1000 linearization upon request).

The 4 to 20 mA (2-wire transmitter) or 0 to 10 V (3-wire transmitter) output signal is linear with temperature.

The continuous analog signal path enables an extremely fast reaction time of the output to a change in temperature (continuous analog measurement instead of digital sampling rate), resulting in a low-noise output signal that is insensitive to interference. A very high degree of precision – even with small ranges – is ensured thanks to the range-specific gain adjustment.

Digital communication allows the transmitter to be adapted to the measurement task (range, probe break and fine calibration).

Two versions are available to suit specific requirements:

#### Instruments with basic type extension 880/990 (adjustable)

The transmitters are calibrated for a fixed range but can, at any time, be calibrated for a different range through the setup program.

#### Instruments with basic type extension 881/991 (configurable)

The required range can be configured through the setup program, without sensor simulation and measurement.



dTRANS T03 BU  
 Type 707033/...



dTRANS T03 T  
 Type 707032/...



dTRANS T03 TU  
 Type 707034/...

### Overview of function

	dTRANS T03 J Type 707030/...	dTRANS T03 B Type 707031/...	dTRANS T03 T Type 707032/...	dTRANS T03 BU Type 707033/...	dTRANS T03 TU Type 707034/...
Input	Pt100	Pt100	Pt100	Pt100	Pt100
Connection circuit (sensor)	2-wire	2-wire or 3-wire	2-wire or 3-wire	2-wire or 3-wire	2-wire or 3-wire
Mounting	terminal head Form J	terminal head Form B	mounting rail	terminal head Form B	mounting rail
Output	4 to 20mA	4 to 20mA	4 to 20mA	0 to 10V	0 to 10V
Connection circuit (output)	2-wire	2-wire	2-wire	3-wire	3-wire

## Technical data for 2-wire transmitter (Types 707030/..., 707031/... and 707032/...)

### Input for resistance thermometer

	dTRANS T03 J Type 707030/...	dTRANS T03 B Type 707031/...	dTRANS T03 T Type 707032/...
Measurement input	Pt100 (EN 60751)		
Range limits	-200 to +850 °C		
Connection circuit	2-wire circuit	2-wire or 3-wire circuit	2-wire or 3-wire circuit
Smallest span	25 °C		
Largest span	1050 °C		
Unit	measuring range configuration in °C or °F		
Zero shift	for spans < 75 °C fixed zero: -40 °C, -20 °C, 0 °C, 20 °C, 40 °C <sup>a</sup>		
	for span 75 °C: ±50 °C		
	for spans > 75 °C: see "Range organization" on page 7		
Sensor lead resistance for 3-wire connection	≤ 11 Ω per conductor		
Sensor lead resistance for 2-wire connection	factory-set: 0 Ω lead resistance settable through setup program		
Sensor current	≤ 0.5 mA		
Sampling rate	continuous measurement because of analog signal path		

<sup>a</sup> -30 °C, -10 °C, 0 °C, 10 °C, 30 °C available upon request

### Measurement circuit monitoring to NAMUR recommendation NE43

Underrange	falling to ≤ 3.6 mA
Overrange	rising to ≥ 22 mA to < 28 mA (typically 24 mA)
Probe short-circuit	≤ 3.6 mA
Probe and lead break	positive: ≥ 22 mA to < 28 mA (typically 24 mA) negative: ≤ 3.6 mA

### Output

Output signal	proportional DC current 4 to 20 mA
Transfer characteristic	linear with temperature
Transfer accuracy	≤ ± 0.1 % <sup>a</sup>
Damping of ripple on supply voltage	> 40 dB
Burden (R <sub>B</sub> )	R <sub>B</sub> = (U <sub>b</sub> - 7.5 V) divided by 22 mA
Burden error	≤ ± 0.02 % per 100 Ω <sup>a</sup>
Settling time on a temperature change	≤ 10 msec
Calibration conditions	24 V DC at approx. 22 °C
Calibration/configuration accuracy	≤ ± 0.2 % <sup>a, b, c</sup> or ≤ ± 0.2 °C <sup>b</sup>

<sup>a</sup> All details refer to the range-end value 20 mA.

<sup>b</sup> The larger value applies.

<sup>c</sup> If the measuring range end value > 600 °C then the calibration or configuration accuracy is ≤ ± 0.4 %.

### Supply voltage

Supply voltage (U <sub>b</sub> )	7.5 to 30 V DC The transmitter is only designed for operation in electrical circuit SELV and PELV according to DIN EN 50178.
Reverse polarity protection	yes
Supply voltage error	≤ ± 0.01 % per V deviation from 24 V <sup>a</sup>
Requirements	The transmitter must be equipped with an electrical circuit that meets the requirements of DIN EN 61010-1 with regard to "Limited-energy circuits".

<sup>a</sup> All details refer to the range-end value 20 mA.



## ANEXO 3: ESPECIFICACIONES TECNICA DEL HIGROMETRO



SRC-H1T1

### SRC-H1T1 Indoor Humidity & Temperature Transmitter

#### Features

- Replaceable sensor element
- Indoor humidity and temperature measurement
- Minimum and maximum value memory
- 0...10V, 0...20mA or 2...10V, 4...20mA measuring signals selectable with jumpers
- Optional alternative signal ranges programmable
- Selectable averaging signal
- Optional external display (OPA-S)
- Status LED

#### Applications

- Indoor humidity & temperature measurement for heating, ventilation and air conditioning applications.
- Recording of minimum and maximum values for critical environments
- Supervision of critical humidity and temperatures



#### Humidity & Temperature Transmitter

A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied measuring technology guarantees excellent reliability and long term stability. The microprocessor samples the humidity and temperature once per second. It calculates an averaging signal over a preset number of seconds and generates the output signal based on lower and upper signal range values. Standard range is 0...100%RH, -40...60°C (-40...140°F) and 10 seconds average. The signal range of the temperature measurement and the averaging samples may be customized.

Standard output signal range and types may be selected by jumpers. Standard signal ranges are: 0...10 VDC, 0...10 VDC, 4...20 mA and 0...20 mA. Other ranges can be defined by using a programming tool (OPA-S).

#### Minimum and Maximum Values:

Using the programming tool, the user has the option to read out and reset minimum and maximum values. The minimum and maximum values may as well be used as output signals. The minimum and maximum values are saved into the EEPROM and are available after a power interruption.

#### Ordering

Per default a sensor element with 3%RH accuracy is included. Contact your local sales contact to order sensing elements with different accuracies.

#### Signal converter

Item Name	Item Code	Description/Option
SRC-H1T1-A3	40-30 0142	Signal converter for humidity & temperature sensor
SRC-H1T1-A3-W0	40-30 0142-0	0 Temperature Range: -40...60°C (-40...140°F) (Default)
SRC-H1T1-A3-W1	40-30 0142-1	1 Temperature Range: -35...35°C (-31...95°F)
SRC-H1T1-A3-W2	40-30 0142-2	2 Temperature Range: 0...50°C (32...122°F)
SRC-H1T1-A3-W3	40-30 0142-3	3 Temperature Range: Special – Specify in order

#### Sensor element

Item Name	Item Code	Humidity Accuracy [%rH]	Temperature Accuracy [K] @25°C (77°F)	Description/Option
AES1-HT-A2	40-50 0067	± 2%	± 0.3°	Humidity - temperature sensor element
AES1-HT-A3	40-50 0068	± 3%	± 0.4°	
AES1-HT-A5	40-50 0069	± 5%	± 0.5°	

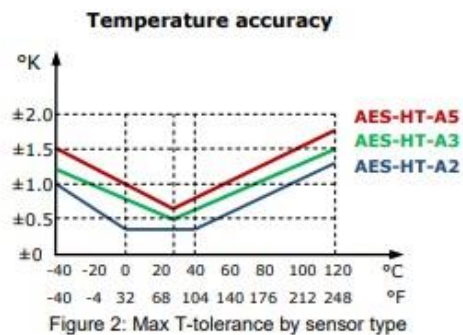
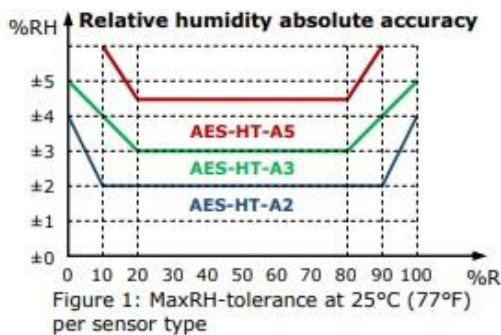
#### Accessories

Item Name	Item Code	Description/Option
OPA-S	40-50 0006	External display module

**Technical Specification**

**Warning! Safety advice!** This device is intended to be used for comfort applications. Where a device failure endangers human life and/or property, it is the responsibility of the owner, designer and installer to add additional safety devices to prevent or detect a system failure caused by such a device failure. The manufacturer of this device cannot be held liable for any damage caused by such a failure. Failure to follow specifications and local regulations may endanger life, cause equipment damage and void warranty.

Power Supply	Operating Voltage Transformer	24 V AC 50/60 Hz ± 10%, 24VDC ± 10% SELV to HD 384, Class II, 48VA max
	Power Consumption	Max 2 VA
	Terminal Connectors	For wire 0.34...2.5 mm <sup>2</sup> (AWG 24...12)
Sensing Probe	Humidity Sensor: Range	Capacity sensor element 0...100 %RH
	Measuring Accuracy	See Figure 1
	Hysteresis	± 1%
	Repeatability	± 0.1%
	Stability	< 0.5% / year
Signal Outputs	Temperature Sensor: Measuring Accuracy	Bandgap sensor See Figure 2
	Repeatability	± 0.1°C, ± 0.2°F
	Output Signal Resolution	DC 0-10V or 0...20mA 10 Bit, 9.7 mV, 0.019.5 mA
Environment	Maximum Load	Voltage: ≥1kΩ Current: ≤500Ω
	Operation Climatic Conditions	To IEC 721-3-3 class 3 K5 Temperature 0...60°C (32...140°F) Humidity <95% R.H. non-condensing
Standards	Transport & Storage Climatic Conditions	To IEC 721-3-2 and IEC 721-3-1 class 3 K3 and class 1 K3 Temperature -40...70°C (-40...158°F) Humidity <95% R.H. non-condensing
	Mechanical Conditions	class 2M2
Standards	CE conformity EMC Directive	2004/108/EC
	Low Voltage Directive	2006/95/EC
	Product standards Automatic electrical controls for household and similar use	EN 60 730 -1
	Electromagnetic compatibility for domestic and industrial sector	Emissions: EN 60 730-1 Immunity: EN 60 730-1
	Degree of Protection	IP30 to EN 60 529
General	Safety Class	III (IEC 60536)
	Housing Materials Cover Mounting Plate	Fire proof ABS plastic Galvanized Steel
	Dimensions (H x W x D)	21 x 88 x 88 mm (0.8 x 3.5 x 3.5 in)
	Weight (including package)	160 g (5.6 oz)



## ANEXO 4: FORMATO DE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE FLUJO DE GASES

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°

### 1. Datos del solicitante

Razón social :		Fecha de Emisión:	
Dirección :			

### 2. Datos del medidor verificado

Fabricante	Clase
Marca	Tamaño
Modelo	Tipo
Número de serie	$Q_{min}$ [m <sup>3</sup> /h]
Lugar de Fabricación	$Q_{max}$ [m <sup>3</sup> /h]
Año de fabricación	$Q_i$ [m <sup>3</sup> /h]
Normas de Aprobación de Modelo	Volumen cíclico [dm <sup>3</sup> ]
Certificado de Aprobación de Modelo /	$p_{min} - p_{max}$ [mbar]
Certificado de Homologación (**)	$t_{min} - t_{max}$ [°C]

### 3. Lugar de calibración

--

### 4. Resultados :

Ensayos realizados de acuerdo a la Norma Metrológica Peruana NMP 016:2012 "MEDIDORES DE GAS. Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos. Parte 2: Controles metrológicos y ensayos de funcionamiento"

Condiciones de ensayo			Resultado	Requisito (EMP)
Q [L/h]	$p_w$ [mbar]	$t_w$ [°C]		
WME Obtenido				

Q: Caudal real del gas

$p_w$ : presión del gas en el medidor

$t_w$ : temperatura del gas en el medidor

Fecha de Calibración :

EMP: Error Máximo Permissible

WME: Error Medio Ponderado

### 5. Trazabilidad :

Instrumento de Medición	Certificado de Calibración	Incertidumbre	Fecha de Calibración	Emisor del Certificado

### 6. Conclusiones de la calibración :

El medidor cumple con los requisitos 5.3.4 y 5.4 de la NMP 016:2012

### 7. Observaciones

**ANEXO 5 CÁLCULO DE C EN BASE A LA TABLA 13**

$$\begin{aligned}
 C_* = & 1,96794791E - 02 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^0 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^{-3} + -2,77441435E \\
 & - 02 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^0 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^{-1} + 7,03190683E \\
 & - 01 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^0 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^0 + -3,44841143E \\
 & - 03 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^0 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^1 + -1,13593977E \\
 & - 01 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^1 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^{-7} + 1,50732595E \\
 & - 01 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^1 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^{-3} + -2,40345497E \\
 & - 03 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^1 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^0 + 1,22463176E \\
 & - 06 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^1 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^3 + -3,06438830E \\
 & - 03 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^2 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^{-2} + 2,11628554E \\
 & - 01 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^{2,5} \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^{-8} + 5,12880207E \\
 & - 05 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^{2,5} \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^0 + -1,66668729E \\
 & - 06 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^3 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^1 + -6,55405214E \\
 & - 02 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^{3,5} \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^{-8} + 1,39083140E \\
 & - 02 \times \left( \frac{98068,557}{3,786E + 06} \right)^4 \times \left( \frac{291,936837}{132,5306} \right)^{-8}
 \end{aligned}$$

## ANEXO 6: VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



### METROLOGIA E INGENIERIA LINO S.A.C.

Av. Venezuela N° 2040 Lima 01- Lima - Perú Central Telef.: (511) 713-9080 / (511) 713.5656 / 999 072 424  
Consulta Técnica: (511) 713-5610 / 975 432 445 / 965 403 256  
Atención al Cliente: 975 193 739  
E-mail: ventas@metroil.com.pe / Web: www.metroil.com.pe

### INFORME DE VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE FLUJO DE GASES, EN UN BANCO DE TOBERAS AUTOMATIZADO BAJO LA NORMA ISO 17025

La Gerencia Técnica de METROIL considerando las evidencias que se obtuvo del uso del procedimiento, en procesos bilaterales externas (INACAL) y bilaterales Internas (METROIL). Resuelve validando y dando la conformidad del “Procedimiento de Calibración de Medidores de Medición Electrónica de Flujo de Gases, en un Banco de Toberas Automatizado bajo la Norma ISO 17025” encontrando índices de compatibilidades aceptables de los resultados obtenidos en las pruebas descritas.

El Procedimiento de Calibración cumple con la normativa nacional vigente y los criterios de calidad para emitir un certificado valido para la empresa y cumpliendo las directrices que se detallaran a continuación:

- NTP ISO 17025:2017
- NMP-016:2012
- Directriz DA-acr-06D Directriz para la acreditación de los laboratorios de ensayo y calibración
- DA-acr-01R Reglamento para la acreditación de organismo de evaluación de la conformidad (OEC)
- DA-acre-12D Criterios para la trazabilidad de las mediciones.
- DA-acr-13D Directriz de criterios para la participación en ensayos de aptitud comparaciones interlaboratorios.
- VIM:2012 Reglas de redonde y Cifras Significativas.
- Interpretación de análisis de resultados y certificados de calibración – Aseguramientos Metrológicos.

.....  
José Chávez Valiente  
Personal de Gerencia Técnica