

**PARÁMETROS METROLÓGICOS ASOCIADOS EN LA CALIBRACIÓN DE UN
MEDIDOR DE AGUA POTABLE DE CLASE METROLOGICA R160 15 mm**

CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE AGUA POTABLE

AUTORES:

VICTOR ESCANDON BELTRAN

BRAHAYAN SIERRA GARCIA

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA TECNOLOGÍA EN METROLOGÍA INDUSTRIAL

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827



Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional

**PARÁMETROS METROLÓGICOS ASOCIADOS EN LA CALIBRACIÓN DE UN
MEDIDOR DE AGUA POTABLE DE CLASE METROLOGICA R160 15 mm**

CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE AGUA POTABLE FRÍA

AUTORES:

VICTOR ESCANDON BELTRAN

BRAHAYAN SIERRA GARCIA

**Propuesta de Trabajo de grado presentado como requisito para optar al
título de Tecnólogo en Metrología Industrial**

TUTORES:

WALDYR FONG SILVA

CARLOS SEVERICHE SIERRA

2018

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO			
Parámetros Metrológicos asociados en el procedimiento de calibración de un Medidor de Agua Potable fría			
LINEA DE ESTUDIO			
Calibración de Medidores de Agua Potable			
AUTORES			
Apellidos Completos		Nombres Completos	
Escandón Beltrán		Víctor	
Sierra García		Brahayan	
DIRECTOR (ES) DEL TRABAJO DE GRADO			
Apellidos Completos		Nombres Completos	
Fong Silva		Waldyr	
Severiche Sierra		Carlos	
FACULTAD			
Ciencias Exactas y Naturales			
PROGRAMA ACADÉMICO			
Tipo de programa			
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado
X			
Nombre del programa académico			
Tecnología en Metrología Industrial			
Nombres y apellidos del director del programa académico			
Waldyr Fong Silva			
TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:			
Tecnólogo en Metrología Industrial			
CIUDAD	AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO		NUMERO DE PAGINAS
Cartagena	2018		
DESCRIPTORES PALABRAS CLAVES			
Calibración, Medidores de Agua, Caudal, Volumen, Presión, Temperatura, Condiciones Ambientales, Exactitud, Precisión, Incertidumbre, Linealidad, Precisión intermedia.			

Tabla 1. Información general del proyecto.

2. CONTENIDO	
1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	3
3. RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADO	8
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	10
4.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
4.2. JUSTIFICACIÓN	11
5. MARCO TEÓRICO	12
6. OBJETIVOS	30
6.1. OBJETIVO GENERAL	30
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
7. EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA.	31
8. PROCESO DE CALIBRACIÓN	34
8.1. EXAMEN EXTERNO	34
8.2. ENSAYO DE DESEMPEÑO	35
8.2.1. CONDICIONES REQUERIDAS PARA LA REALIZACIÓN DE LA CALIBRACIÓN	35
8.3. MONTAJE DE LOS MEDIDORES EN EL BANCO DE PRUEBAS	36
8.3.1. SELECCIÓN DEL MEDIDOR	36
8.3.2. MONTAJE Y ALISTAMIENTO	36
8.3.3. DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE PRUEBA Y DEFINICIÓN DEL PATRÓN.	36
8.3.4. CONDICIONES DE PRUEBA.	37
8.4. PRUEBA DE CAUDAL PERMANENTE QP	37
8.5. PRUEBA DE CAUDAL TRANSICIÓN	39
8.6. PRUEBA DE CAUDAL MÍNIMO	40
8.7. EXACTITUD (ERROR) DEL IBP	42
8.8. PRECISIÓN	43
8.9. LINEALIDAD EN TÉRMINOS DE EXACTITUD	44
8.10. INCERTIDUMBRE DE MEDIDA	45
9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	54
10. IMPACTOS	55
11. RESULTADOS DE LA CALIBRACION	56
12. CONCLUSIONES	69
13. BIBLIOGRAFÍA	71

Listado de Tablas

Tabla 1. Información general del proyecto.	3
Tabla 2. Errores máximos permisibles (EMP) para medidores de Agua.	22
Tabla 3. Caudales de prueba en la calibración de medidores de agua potable.	27
Tabla 4. Rango de caudal de prueba para Q_p .	37
Tabla 5. Rango de caudal de prueba para Q_t .	39
Tabla 6. Rango de caudal de prueba para Q_{min} .	41
Tabla 7. Ejemplo determinación exactitud medidor de agua.	43
Tabla 8. Ejemplo determinación precisión medidor de agua. DS (desviación estándar).	44
Tabla 9. Coeficientes para el cálculo del volumen real V_x	47
Tabla 10. Incertidumbre estándar por sistema Patrón.	48
Tabla 11. Cronograma de Actividades.	54
Tabla 12. Generación de nuevo conocimiento Relacionados con la generación y apropiación de conocimiento.	55
Tabla 13. Datos del proceso de calibración.	56
Tabla 14. Determinación de Error del IBP	57
Tabla 15. Volumen Real Prueba Q_p/Q_3	57
Tabla 16. Volumen Real Prueba Q_t/Q_2	57
Tabla 17. Volumen Real Prueba Q_{min}/Q_1	58
Tabla 18. Precisión de medida en las diferentes pruebas de calibración realizadas al medidor de agua potable.	59
Tabla 19. Grados de cumplimiento Precisión (Repetibilidad de Medida).	60
Tabla 20. Variaciones de Temperatura y Presión durante la calibración.	62
Tabla 21. Incertidumbre debido al volumen convencional, V_X prueba Q_3	63
Tabla 22. Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i prueba Q_3	64
Tabla 23. Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas prueba Q_3	64
Tabla 24. Incertidumbre debido al volumen convencional V_x prueba Q_2	65
Tabla 25. Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i prueba Q_2	66
Tabla 26. Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas prueba Q_2	66
Tabla 27. Incertidumbre debido al volumen convencional, V_X prueba Q_1	67
Tabla 28. Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i prueba Q_1	68
Tabla 29. Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas.	68

Listado de Figuras

Figura 1. Micromedición y Macromedición de Agua potable.	14
Figura 2. Medidor pistón oscilante. 15 mm	15
Figura 3. Funcionamiento medidor de pistón oscilante.	16
Figura 4. Principio de los medidores tipo turbina.	17
Figura 5. Medidor tipo turbina chorro múltiple	18
Figura 6. Sistema de medidores de velocidad	19
Figura 7. Precisión y Exactitud	23
Figura 8. Representación de la linealidad	25
Figura 9. Características Medidor bajo prueba (IBP)	31
Figura 10. Instrumentos y variables de trabajo en el banco de calibración	32
Figura 11. Banco de Calibración de medidores de Agua.	33
Figura 12. Aplicativo utilizado en la calibración del IBP	33
Figura 13. Datos iniciales en la calibración de un medidor de Agua.	35
Figura 14. Prueba en Ejecución.	38
Figura 15. Datos Finales en la calibración de un Medidor de Agua.	42
Figura 16. Linealidad y no linealidad.	44
Figura 17. Grafica de residuales	58
Figura 18. Linealidad prueba Q_p/Q_3	60
Figura 19. Linealidad prueba Q_t/Q_2	61
Figura 20. Linealidad prueba Q_{min}/Q_1	61

Listado de Ecuaciones

Ecuación 1. Error Relativo. NTC-GTC-214.	43
Ecuación 2. Volumen convencional. NTC-GTC-214.	46
Ecuación 3. Incertidumbre estándar volumen en el RVM. NTC-GTC-214.	47
Ecuación 4. Incertidumbre por lectura del volumen en el RVM. NTC-GTC-214.	48
Ecuación 5. Incertidumbre en la temperatura del agua en el RVM. NTC-GTC-214.	48
Ecuación 6. Incertidumbre combinada aportada por el patrón. NTC-GTC-214.	49
Ecuación 7. Incertidumbre por el material del Patrón Volumétrico RVM. NTC-GTC-214.	49
Ecuación 8. Incertidumbre dada por la temperatura del medidor. NTC-GTC-214.	50
Ecuación 9. Incertidumbre combinada. NTC-GTC-214.	50
Ecuación 10. Incertidumbre por Presión del agua de entrada del 1^{er} medidor. NTC-GTC-214.	50
Ecuación 11. Incertidumbre combinada. NTC-GTC-214.	51
Ecuación 12. Incertidumbre combinada. NTC-GTC-214.	51
Ecuación 13. Incertidumbre estándar. NTC-GTC-214.	52
Ecuación 14. Incertidumbre de las n mediciones. NTC-GTC-214.	52
Ecuación 15. Incertidumbre combinada. NTC-GTC-214.	53

3. RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADO

La calibración de medidores de agua potable consiste en determinar el error de medida de cierto medidor de agua con respecto a un volumen de referencia. El procedimiento se basa en determinar la exactitud y las variaciones que están presentes en el proceso de calibración (incertidumbre de medida) con al menos tres (3) caudales de prueba. El cálculo del error relativo es hallado a partir de los valores de volumen inicial y el acumulado final en el medidor comparado con el volumen alcanzado por el patrón.

Los caudales de prueba para medidores de agua potable fría y caliente están determinados por la norma NTC-ISO 4064 versión 2016 los cuales depende de la clase metrológica del medidor. Los caudales de prueba son; caudal nominal o Q3, caudal de transición o Q2 y caudal mínimo o Q1.

En el procedimiento de calibración presentado, son realizada las pruebas de caudales a un medidor con diámetro de 15 mm con clase metrológica R160 (la descripción completa de las especificaciones técnicas y metrológicas del medidor están detalladas en el numeral de la metodología, así como en el marco teórico, las definiciones con respecto a las clases metrológicas de los medidores).

El método empleado para la calibración de este medidor de agua potable es basado en el principio de recolección de fluido, el cual cierta cantidad de agua se hace pasar a través de mecanismos de ensayo, tuberías, filtros, válvulas reguladoras de presión, acoples, válvulas neumáticas, Caudalímetros, sensores de temperatura, Transmisores de presión, cilindros neumáticos, tanques de almacenamiento metálicos (Patrones de Medida trazables al SI), Vidrio visores, sensores de movimiento, válvulas manorreductoras, que a su vez forman en conjunto el banco calibración, controlado a su vez por sistemas de automatización PLC, el agua que se hace pasar por el medidor para la realización de la prueba es de reciclable cumpliendo con los requisitos de calidad exigidos por la norma evidenciándose en el mantenimiento preventivo del mismo almacenamiento, , al finalizar la prueba de calibración los Medidores son sometidos a un proceso de limpieza con agua de la red, el agua recolectada en los tanques patrones visualizada por el nivel del mismo fluido a través del vidrio visor, representa el volumen final acumulado en una escala fija en el tanque de almacenamiento. Una vez finalizada la recolección completa del agua y con los tiempos de espera concluidos, para la estabilización del nivel del agua, es leída la lectura en el tanque patrón y comparada con el registro realizado por el instrumento bajo

prueba ¹(IBP). Para términos de exactitud y precisión por cada caudal de prueba son realizadas tres (3) repeticiones de cada uno de los caudales de prueba para un total de nueve (9) repeticiones. El tratamiento de datos de prueba es realizado a través de un software diseñado para tal fin, al finalizar la calibración el software arroja los valores de error del IBP con todas las variaciones que estuvieron presentes durante la calibración (incertidumbre de Medida). Dependiendo de la clase Metrológica del medidor, nivel de precisión, especificaciones metrológicas, estado de uso, la Norma NTC-ISO 4064:2016 establece los criterios para que una vez realizada la calibración de un medidor con los datos de prueba sea comparado con los criterios de aceptación y al mismo tiempo declarar los valores de error del IBP, en este caso si el IBP cumple con los criterios para su correcto funcionamiento.

La emisión de los resultados de calibración es coordinada a partir de la publicación de un certificado de calibración, el cual cuenta con la descripción completa de las características del IBP, el método utilizado para la calibración, si existe un plan o procedimiento de muestreo, la respectiva trazabilidad de los patrones de medida, los datos y resultados de la calibración, el control y datos de las instalaciones y condiciones ambientales durante la calibración, la referencia de la incertidumbre reportada, la representación gráfica del error asociada con su respectiva incertidumbre expresado en un túnel de aceptación y por último las observaciones que comprometan los resultados de la calibración.

Los parámetros Metrológicos asociados dentro del proceso de calibración de un medidor de agua potable fría fundamentan la confiabilidad y rendimiento de un medidor de agua dentro de los cuales encontramos principales parámetros metrológicos como Exactitud: Característica del IBP que señala la desviación que tiene con un patrón de medida trazable, Precisión: capacidad de IBP para arrojar en condiciones estables valores de medida cercanos unos de otros, Linealidad: comportamiento del medidor que indica en términos de exactitud la correspondencia con el patrón de medida trazable, este parámetro es vinculado a la representación gráfica de los puntos de la calibración, Incertidumbre de medida: Condición que representa que tan confiable fue la calibración del IBP. En efectos posteriores a la calibración del medidor hay otros parámetros metrológicos que indican el aseguramiento Metrológico del medidor entre ellos está la Precisión

¹ IBP: Instrumento bajo prueba, son todos aquellos medidores que están en el proceso de calibración.

intermedia de medida del IBP en este parámetro es necesario la realización de mínimo 2 calibraciones más.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los mayores desafíos del futuro está en asegurar la continua y satisfactoria disponibilidad del recurso hídrico para cumplir con las múltiples y crecientes demandas de su uso tanto a nivel social como productivo. Es responsabilidad de cada uno de los actores públicos y privados organizar el uso eficiente y racional del recurso hídrico según las características de su sector. La cobertura de Micromedición y su rendimiento son aspectos que están conscientes que debe ser una prioridad para atender a este gran desafío.

Por fallas en los medidores del consumo de agua, la regulación de la calidad de los medidores de agua potable apunta a un proceso en la formulación de un reglamento técnico tal como lo apunta los entes de normalización.

Otros temas que afectan al rendimiento metrológico de los medidores es su debida instalación con todos los dispositivos de protección, la calidad del agua, su mantenimiento preventivo, la vida útil del medidor, que con el paso de su estado de servicio la gran mayoría ²tiende al subcontaje. Lo primero es regulando la calidad de los instrumentos.

La distribución del recurso hídrico en los domicilios (Micromedición) y a grandes escalas (Macromedición) es afectada de manera directa por fallas de los medidores, tal razón con lleva, como en numerosos casos de otros instrumentos de medida, a entrar en la incertidumbre y de desconfiar de los resultados de medición de los medidores de agua.

² Proagua. Metodología de Evaluación de Medidores y su Aplicación en Diversas Condiciones Operativas y de Consumo. Programa de Agua Potable y Alcantarillado. Lima, Perú. Mayo 2010.

4.2. JUSTIFICACIÓN

La aparición y la nueva tendencia de los procesos industriales, comerciales, científicos, etc., de apuntar a la constante búsqueda de la calidad. Esto exige cada vez más a los productos y servicios, cumplir con las expectativas de los consumidores en todos los aspectos; legal, seguridad, costo, durabilidad y sobretodo confiabilidad, de modo que los fabricantes de productos/servicios entreguen lo mejor de sí cada vez, generando por parte de los entes acreditadores y normalizadores criterios de aceptación más exigentes al producto/servicio. Así mismo el sector que cuente con los mecanismos para minimización de errores en los productos/servicios será el de mayor confiabilidad.

Para aquellos productos/servicios en donde la deriva de su confiabilidad es mediana, la aceptación de los criterios conlleva a la realización de verificaciones periódicas descritas por el fabricante o en algún caso cuando en los productos/servicios sea vean afectados por anomalías que generen desconfianza en su estado de calidad.

Tal es el caso de los medidores de Agua potable de redes domésticas cuya deriva va afectando la calidad del registro de agua consumida, que al paso del tiempo, por legalidad, estos medidores deben someterse a pruebas de verificación (calibración) que comparados con valores de referencia (patrón de Medida) aportan información acerca de su estado actual en condiciones de calidad de medida y que estos a su vez son evaluados con rangos de aceptabilidad establecidos por normas internacionales teniendo en cuenta diversos criterios de los medidores como: Clase metrológica, precisión, especificaciones metrológicas y técnicas de los medidores

5. MARCO TEÓRICO

Con el progreso de la tecnología fue preciso definir magnitudes con la mayor exactitud y universalidad posible y establecer metodologías para poder medirlas de forma confiable. Con el transcurso de la historia, se generaron distintos sistemas de medición con sus propios patrones, los cuales se fueron definiendo de forma más exacta con el fin de evitar la imprecisión asociada a estas medidas.

La necesidad de usar un medidor en los acueductos se remonta a la antigua Roma, ya que en esta metrópoli existía una gran necesidad de distribuir el preciado líquido a los habitantes. Debido a que este líquido, al principio, se distribuía de manera gratuita, los pobladores no lo aprovechaban de una manera eficiente y el agua era desperdiciada, así que las autoridades decidieron hacer un cobro igual a todos los habitantes por el uso de este. Ya a finales del siglo XIX, en Inglaterra, se observó que hacer el mismo cobro a todos los habitantes era algo injusto e inequitativo, así que se pusieron a la tarea de desarrollar un medidor de agua, con el cual se contabilizará el consumo de agua total y se realizará el cobro respectivo, este sistema sirvió al principio y por un buen tiempo, hasta que usuarios inconformes con el cobro violaban la seguridad del medidor y le introducían toda clase de objetos para que se altera la medición, por ello se han desarrollado una serie de medidores antifraude y además se ha incorporado en la normatividad legal de casi todos los países del mundo como delito la alteración de cualquier tipo de medidores.

La necesidad obliga a una sociedad al cambio, esto se remonta de eras prehistóricas debido a la mejora continua. La historia en Colombia demarca pérdida económica ya mencionada, por la no implementación al 100 % en el control de la medida en agua potable.

Pocos son los estudios que se han realizado en Colombia para la contabilidad del agua entre estos pocos tenemos uno realizado en Bogotá, basado en la caracterización del consumo de agua de usuarios residenciales basado en datos estadísticos obtenidos del trabajo en campo realizado con medidores electrónicos y específicamente desarrollar un modelo para la estimación de consumo de agua a un usuario a que no fue posible hacer la lectura del medidor.

Volumen y Caudal (Q)

Según la *física* volumen se denomina al espacio que ocupa un cuerpo.

La RAE, Real Academia española, el volumen es una magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones, largo, ancho y alto, y cuya unidad en el sistema internacional es el metro cúbico.

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo. Se denomina también caudal volumétrico o índice de flujo fluido, y que puede ser expresado en masa o en volumen. El caudalímetro es un instrumento empleado para la medición del caudal de un fluido.

La Micromedición y Macromedición

La Micromedición es la actividad que se refiere a la medición, instalación, calibración de los medidores, los cuales se definen como un dispositivo de carácter domiciliario, que mide y acumula el caudal de agua que pasa hacia una propiedad, y con dicha medida se cobra el servicio prestado al usuario.

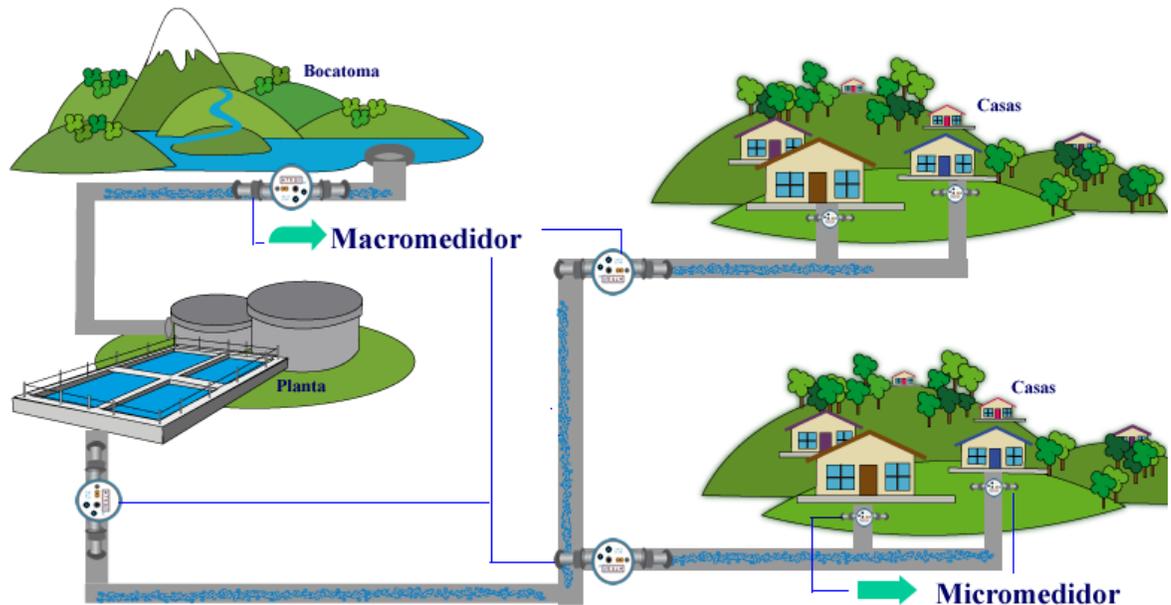
El medidor, por tanto, permite el servicio de llevar el agua hasta la llave de su cocina, sanitario etc.

Generalmente, se encuentran dos ámbitos de la medición del agua potable:

Micromedición: Es aquella actividad de medición y control del caudal, cuyo diámetro de alimentación y descarga se encuentran entre 0.5 y 1 pulgadas (entre 15 y 25 mm). Los micromedidores básicamente son instalados en las residencias y pequeños locales comerciales.

Macromedición: Es aquella actividad de medición y control de grandes caudales, cuyos diámetros de alimentación y descarga superan 1 pulgadas (mayor a 25 mm). Los macromedidores son utilizados para realizar las mediciones de caudal en los siguientes sitios: la captación, en la entrada y salida de las plantas o reservorios y en algunas ocasiones por conjuntos residenciales, hospitales e instituciones educativas, como lo observamos en la gráfica.

Figura 1. Micromedición y Macromedición de Agua potable.



La Micromedición permite básicamente:

- Ser vigilante del usuario.
- Racionalizar el consumo.
- Herramienta para una buena administración.
- Posibilita que el suministro sea equitativo y que no sólo los sitios más bajos de la municipalidad tengan mayor tiempo el servicio.

MEDIDORES SEGÚN SU PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Un Medidor de agua es un Instrumento destinado a medir continuamente, memorizar y visualizar el volumen de agua que pasa a través del transductor de medición en condiciones de medición. Un medidor se comprende de los siguientes complementos básicos:

El **Transductor** de medición es la parte del medidor que transforma el caudal o el volumen de agua que se va a medir en señales que pasan al registrador e incluye el sensor.

Sensor: Elemento de un medidor que se ve afectado directamente por un fenómeno, un cuerpo o una sustancia que porta una cantidad que se ha de medir.

Registrador: Parte del medidor que transforma las señales de salida provenientes del transductor de medición y, posiblemente, de los instrumentos de medición asociados y, si es apropiado, almacena los resultados en la memoria hasta que se usen.

Dispositivo indicador: Parte del medidor que proporciona una indicación que corresponde al volumen de agua que pasa a través del medidor

Medidores de desplazamiento positivo:

Los medidores de desplazamiento positivo miden el caudal, en volumen, contando o integrando volúmenes separados del líquido. Las partes mecánicas del instrumento se mueven aprovechando la energía del líquido y dan lugar a una pérdida de carga. La exactitud depende de los huelgos entre las partes móviles y las fijas y aumenta con la calidad de la mecanización y con el tamaño del instrumento.

Figura 2. Medidor pistón oscilante. 15 mm



El medidor volumétrico es un dispositivo colocado dentro de un conducto cerrado, compuesto por cámaras de volumen conocido y por un mecanismo accionado directamente por el flujo mediante el cual, éstas cámaras se llenan sucesivamente con agua y luego se vacían. Con base en el conteo de número de volúmenes que pasan a través de él, el mecanismo indicador totaliza e indica el caudal.

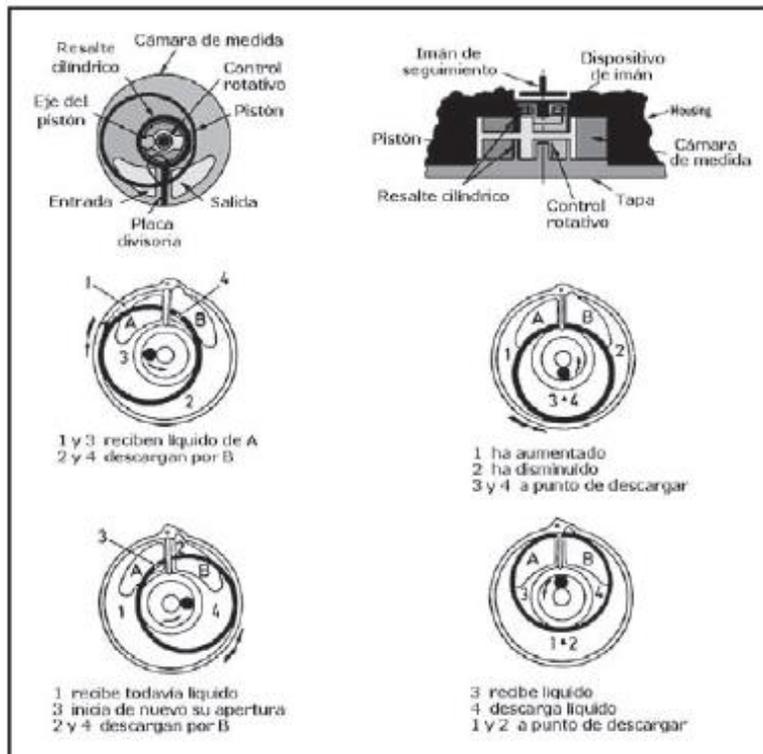
Esta tecnología consta del cuerpo de medición donde se encuentra alojada la cámara de volumen calibrado, el pistón rotativo y el plato de división. El agua se acumula mediante totalizadores de transmisión magnética o mecánica.

El funcionamiento del instrumento se inicia cuando entra el agua dentro de la cámara, debido a la mayor presión aguas arriba, el pistón tiende a girar excéntricamente cambiando el agua de cada compartimiento. De este modo, se produce el llenado, por un lado, y al mismo tiempo, el vaciado por otro, cada rotación implica el desplazamiento de un volumen de agua conocido.

El instrumento se compone de una cámara de medida cilíndrica con una placa divisora que separa los orificios de entrada y de salida. La única parte móvil es un pistón cilíndrico que oscila suavemente, en un movimiento circular, entre las dos caras planas de la cámara, y que está provisto de una ranura que se desliza en la placa divisora fija y que hace de guía del movimiento oscilante.

El eje del pistón, al girar, transmite su movimiento a un tren de engranajes y a un contador. El par disponible es elevado de modo que el instrumento puede accionar los accesorios mecánicos que sean necesarios y transmitir mediante un transmisor de impulsos.

Figura 3. Funcionamiento medidor de pistón oscilante.



Medidores Principio Turbina.

En la gráfica se aprecia un caño abierto donde el volumen del agua golpea las aspas de la rueda haciéndola girar. Las vueltas de la rueda (que tienen normalmente una gravedad específica o muy cercana al agua) se convierten en volumen, por la multiplicación por el área del chorro que se supone constante siempre.

Esto mide la velocidad del agua, infiriéndose el caudal, o sea, conocida la velocidad se deduce por analogía el caudal de agua que pasa.

Figura 4. Principio de los medidores tipo turbina.



Dispositivo colocado dentro de un conducto y compuesto por un elemento móvil accionado directamente por la velocidad del agua (de allí su nombre). El movimiento se transmite luego, mediante procedimientos mecánicos o de alguna otra naturaleza, el mecanismo indicador el cual totaliza el caudal

Los medidores de turbina consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal. El fluido choca contra el borde frontal de las palas del rotor produciendo un área de baja presión y, como resultado de esta presión diferencial, las palas giran.

Los medidores de velocidad básicamente se dividen en:

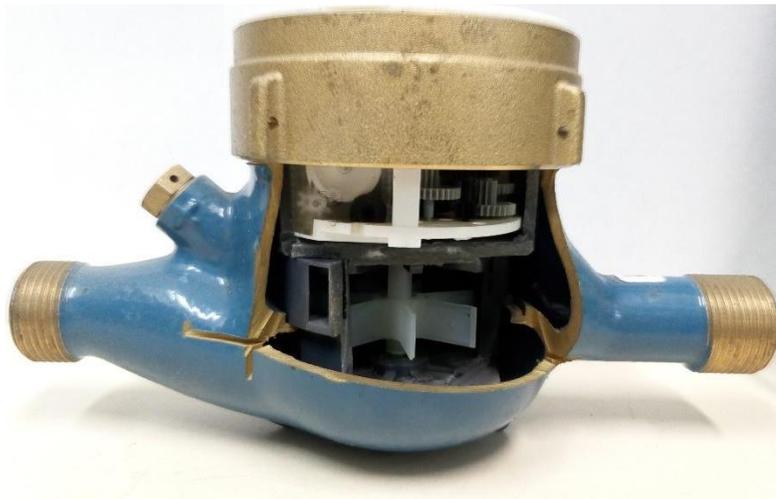
Medidor chorro único

Dispositivos compuestos por un rotor de turbina que gira alrededor de un eje perpendicular al flujo de agua en un medidor. Se denomina chorro único si el chorro hace contacto con la periferia del rotor en un solo lugar. son aquellos medidores en los que la turbina está montada en un eje vertical y es impulsada por un solo chorro de agua que actúa tangencialmente por las paletas, en esencia estos medidores están considerados como medidores de velocidad.

Medidor de chorro múltiple:

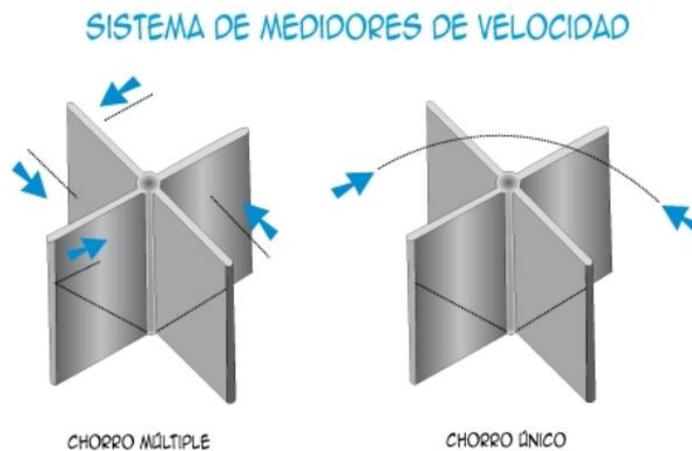
Dispositivos compuestos por un rotor de turbina que gira alrededor de un eje perpendicular al flujo de agua en un medidor. El chorro hace contacto con diferentes puntos alrededor de la periferia del rotor.

Figura 5. Medidor tipo turbina chorro múltiple



Los medidores de chorro múltiple se incluyen, al igual que los medidores de chorro único, en el grupo de medidores de velocidad. Este tipo de medidores son generalmente empleados en redes de riego, principalmente en redes terciarias, en establecimientos e industrias donde el consumo de agua es superior al de un domicilio y se requiere el uso de instrumentos mecánicamente más robustos.

Figura 6. Sistema de medidores de velocidad



La diferencia entre el chorro único y chorro múltiple, radica en que el primero tiene solamente un orificio de entrada y uno de salida; en cambio, el chorro múltiple trabaja con base en múltiples orificios tanto en la entrada como en la salida del agua

CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE AGUA

Proceso que permite identificar los errores de medición en un medidor de agua. El error se determina comparando el volumen de agua indicado por el medidor y el volumen registrado por el recipiente volumétrico patrón en un banco de pruebas. La calibración garantiza el cumplimiento metrológico de acuerdo con los requisitos legales y la normatividad vigente.

La calibración de medidores de agua es un proceso mediante el cual se busca determinar el error en un medidor de agua, realizando pruebas que simulan su funcionamiento antes de ser instalado o para comprobar su estado después de que el medidor ya ha sido utilizado durante diferentes lapsos de tiempo.

CONDICIONES OPERATIVAS: DEFINICIONES METROLÓGICAS EN EL PROCESO DE CALIBRACIÓN DE UN MEDIDOR DE AGUA POTABLE

Volumen real: Volumen total de agua que pasa a través del medidor, independientemente del tiempo que transcurra.

Volumen indicado: Volumen de agua indicado por el medidor.

Error: Valor de la cantidad medida menos un valor de una cantidad de referencia.

Error máximo permitido: Valor extremo del error de medición con respecto al valor de una cantidad de referencia conocida, que está permitido por las especificaciones o los reglamentos para un medidor determinado.

Resolución de un dispositivo de visualización: Diferencia más pequeña entre las indicaciones visualizadas que se pueden distinguir significativamente.

Caudal, (Q): $Q = dV/dt$ en donde V es el volumen y t es el tiempo que le toma a este volumen pasar a través del medidor.

Caudal permanente (Q3 o Qp): Caudal más alto en las condiciones de operación nominales en las que se ha de operar el medidor dentro de los errores máximos permitidos.

Caudal de sobrecarga (Q4): Caudal más alto en la cual se opera el medidor durante un período de tiempo corto dentro de los errores máximos permitidos, al tiempo que se mantiene su desempeño metrológico cuando este funciona posteriormente en las condiciones de operación nominales.

Caudal de transición (Q2 o Qt): Caudal entre el permanente y el mínimo que divide el intervalo en dos zonas, la zona superior y la zona inferior, cada una caracterizada por sus propios errores máximos permitidos.

Caudal mínimo (Q1 o Qmin): Caudal más bajo en el cual ha de funcionar el medidor dentro de los errores máximos permitidos.

Temperatura Mínima admisible: Mínima temperatura del agua que un medidor puede soportar permanentemente, dentro de sus condiciones de operación nominales, sin que se deteriore su desempeño metrológico.

Máxima temperatura admisible: Máxima temperatura del agua que un medidor puede soportar permanentemente, dentro de sus condiciones de operación nominales, sin deterioro de su desempeño metrológico

Máxima presión admisible: Máxima presión interna que un medidor puede soportar permanentemente, dentro de sus condiciones de operación nominales, sin deterioro de su desempeño metrológico.

Temperatura de trabajo: Temperatura del agua en la tubería medida corriente arriba del medidor.

Presión de trabajo: Presión (manométrica) promedio del agua en la tubería medida corriente arriba y corriente abajo del medidor.

CLASE DE PRECISIÓN Y ERROR MÁXIMO PERMITIDO (EMP)

El medidor de agua debe estar diseñado y fabricado de manera que sus errores (de indicación) no excedan los errores máximos permitidos bajo condiciones de operación nominales.

El medidor de agua se debe denominar bien sea con una clase de precisión 1 o clase de precisión 2, el fabricante del medidor debe especificar la clase de precisión. Norma ISO 4064.

La norma ISO 1063 para los medidores cuyas clases metrológicas A, B, C y D los EMP están definidos para la zona de caudal superior ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$) es de $\pm 2 \%$ y para la zona de caudal inferior ($Q_1 \leq Q < Q_2$) es de $\pm 5 \%$

“Para medidores usados los EMP están establecidos como dos veces el valor de medidores nuevos.”

Medidores de agua con clase de precisión 1

El EMP para la zona de caudal superior ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$) es de $\pm 1 \%$, para temperaturas desde $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $30 \text{ }^\circ\text{C}$, y de $\pm 2 \%$ para temperaturas superiores a $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

El EMP para la zona de caudal inferior ($Q_1 \leq Q < Q_2$) es de $\pm 3 \%$ independientemente del intervalo de temperatura.

Medidores de agua con clase de precisión 2

El EMP para la zona de caudal superior ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$) es de $\pm 2 \%$, para temperaturas desde $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $30 \text{ }^\circ\text{C}$, y de $\pm 3 \%$ para temperaturas superiores a $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

El EMP para la zona de caudal inferior ($Q_1 \leq Q < Q_2$) es de $\pm 5 \%$ independientemente del intervalo de temperatura.

Tabla 2. Errores máximos permisibles (EMP) para medidores de Agua.

EMP ISO 4064			
Nivel de precisión	Intervalo de caudal		
	Q3/Qp	Q2/Qt	Q1/Qmin
1	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 3 \%$
2	$\pm 2 \%$	$\pm 2 \%$	$\pm 5 \%$
EMP ISO 1063			
Q3/Qp	$\pm 2 \%$		
Q2/Qt	$\pm 2 \%$		
Q1/Qmin	$\pm 5 \%$		

PARÁMETROS METROLÓGICOS

EXACTITUD

Es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida: en otras palabras, es el grado de conformidad de un valor indicado a un valor estándar aceptado o valor ideal, considerado este valor ideal como si fuera el verdadero: la exactitud define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un periodo de tiempo determinado

En otras palabras, es el grado de conformidad de un valor indicado a un valor estándar aceptado o valor ideal, considerando este valor ideal como si fuera el verdadero

La exactitud se da en términos de inexactitud, por ejemplo, un instrumento de temperatura de 0-100 °C con temperatura del proceso de 100 °C y que marca

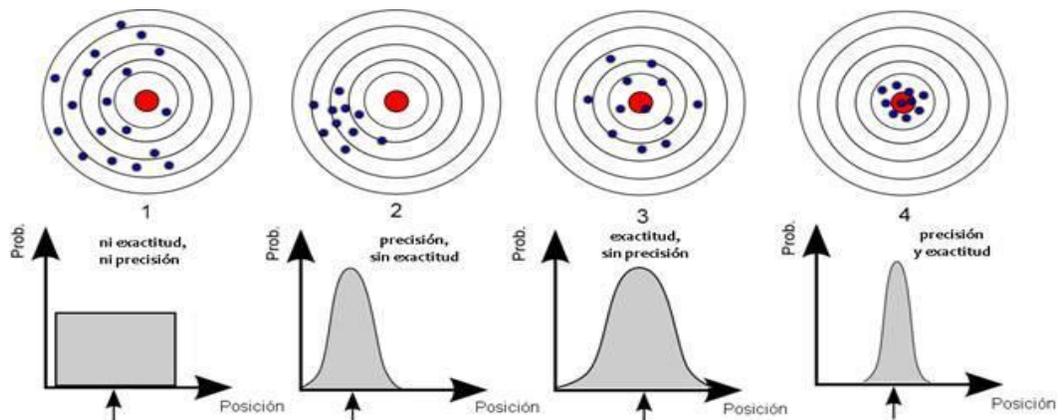
99,98 °C se aproxima al valor real en 0,02 °C, o sea tiene una inexactitud de 0,02 °C

La exactitud varía en cada punto del campo de medida sí bien, el fabricante la especifica, en todo el margen del instrumento, indicando a veces su valor en algunas zonas de la escala.

PRECISIÓN

Es la cualidad de un instrumento que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir es el grado de dispersión de las mismas, un instrumento puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión. A señalar que el término precisión es sinónimo de Repetibilidad.

Figura 7. Precisión y Exactitud



La Repetibilidad es sinónimo de precisión. A mayor Repetibilidad, es decir, a un menor valor numérico (por ejemplo, si en un instrumento es 0,05% y en otro es 0,005%, este segundo tendrá más Repetibilidad), los valores de la indicación o señal de salida estarán más concentrados, es decir, habrá menos dispersión y una mayor precisión.

Para determinarla se comprueba la diferencia entre el valor verdadero de la variable y la indicación o señal de salida del instrumento recorriendo todo el campo, y partiendo, para cada determinación, desde el valor mínimo del campo de medida.

LINEALIDAD

El concepto de linealidad no aparece en el VIM3 (2007), incluso ni en el VIM2 (1993), por no ser considerado como un término fundamental o general en metrología. Para los conceptos que se relacionan con los dispositivos para medir que no figuran en la 3a edición del VIM, el mismo VIM en la introducción nos dice que el lector podrá consultar otros vocabularios como el IEC 60050-300 (2001). El Vocabulario Electrotécnico Internacional (IEV) en la norma IEC 60050 (www.electropedia.org) define el concepto de linealidad y el de error lineal, en el contexto de mediciones eléctricas y electrónicas e instrumentos de medición, como se indica a continuación.

La linealidad es una propiedad importante de los métodos utilizados para efectuar mediciones en un intervalo de medidas. La linealidad de la respuesta a patrones. La linealidad generalmente no es cuantificada, pero es comprobada mediante inspección o utilizando pruebas de significancia de la no-linealidad.

Linealidad (de un instrumento de medida)

Capacidad de un instrumento de medición para proporcionar una indicación que tenga una relación lineal con una magnitud determinada distinta de una magnitud de influencia.

Nota: El método de expresión de la falta de linealidad es diferente para los distintos tipos de instrumentos y se establece en cada caso particular.

Error lineal

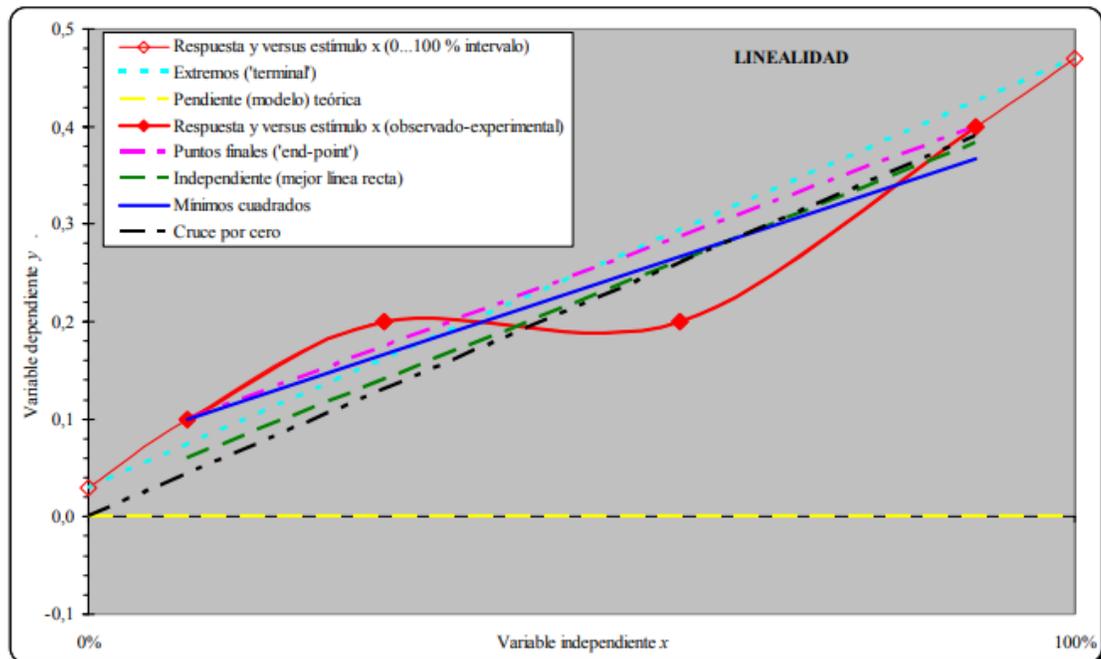
Desviación de una línea recta a la curva que representa la magnitud de salida en función de la magnitud de entrada.

Validación del modelo de línea recta

La validación de un modelo, es decir, la confirmación de que el modelo es adecuado para nuestra finalidad, es tan importante como su establecimiento. Tradicionalmente, la validación del modelo de línea recta se suele llevar a cabo mediante la comprobación del coeficiente de determinación (r^2).

El coeficiente de determinación nos proporciona la correlación entre las variables x e y . Este valor se encuentra siempre comprendido entre -1 y 1 . Tradicionalmente se ha considerado que un valor de r^2 superior a 0.99 parece garantizar la bondad del ajuste de los puntos experimentales a la recta de calibrado

Figura 8. Representación de la linealidad



INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

Todas las mediciones tienen asociada una incertidumbre que puede deberse a los siguientes factores:

- la naturaleza de la magnitud que se mide,
- el instrumento de medición,
- el observador,
- las condiciones externas.

Como el aparato patrón no permite medir exactamente el valor verdadero (también tiene un error) y como además en la operación de comparación intervienen diversas fuentes de error, no es posible caracterizar la medida por un único valor, lo que da lugar a la llamada incertidumbre de la medida. Para que la comparación sea correcta, el procedimiento general es que el patrón de medida sea suficiente más preciso que la del aparato que se calibra

Cada uno de los factores constituye por separado una fuente de incertidumbre y contribuye en mayor o menor grado a la incertidumbre total de la medida. La tarea de detectar y evaluar las incertidumbres no es simple e implica conocer diversos aspectos de la medición. En principio, es posible clasificar las fuentes de incertidumbres en dos conjuntos bien diferenciados, las que se deben a:

Errores accidentales o aleatorios que aparecen cuando mediciones repetidas de la misma variable dan valores diferentes, con igual probabilidad de estar por arriba o por debajo del valor real. Cuando la dispersión de las medidas es pequeña se dice que la medida es precisa.

Errores sistemáticos que son una desviación constante de todas las medidas ya sea siempre hacia arriba o siempre hacia abajo del valor real y son producidos, por ejemplo, por la falta de calibración del instrumento de medición.

Así pues, la incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos

Hay dos incertidumbres A y B presentes en la medición. Las A se relacionan con fuentes de error aleatorios y pueden ser evaluadas a partir de distribuciones estadísticas (lecturas en el instrumento), mientras que las B están asociadas a errores de tipo sistemático y corresponden a la incertidumbre del calibrador, la resolución del instrumento y la influencia de otras magnitudes (temperatura, campos externos, humedad, posición, etc.) que surgen del control de las condiciones de contraste o de la experiencia previa del operador.

CAUDALES DE PRUEBA.

En la calibración de medidores de agua potable están definidos por clase metrológica, Diámetro nominal, los rangos de los caudales en los cuales se debe realizar la calibración del medidor de agua, las siguientes tablas muestran las clasificaciones de los diferentes caudales de prueba por diámetro y clase metrológica A, B, C o D, como también la transición de la norma ISO 4064 que cambia a ser clasificados por rango dinámico R.

Tabla 3. Caudales de prueba en la calibración de medidores de agua potable.

MEDIDORES CLASE A						
DIAMETRO	QP	QT	QMIN	AJUSTE DE CAUDAL L/H		
				QP	QT	QMIN
15 mm	1500 L/H	150 L/H	60 L/H	1350 A 1500	150 A 165	60 A 66
20 mm	2500 L/H	250 L/H	100 L/H	2250 A 2500	250 A 275	100 A 110
25 mm	3500 L/H	350 L/H	140 L/H	3150 A 3500	350 A 385	140 A 154
MEDIDORES CLASE B						
DIAMETRO	QP	QT	QMIN	AJUSTE DE CAUDAL L/H		
				QP	QT	QMIN
15 mm	1500 L/H	120 L/H	30 L/H	1350 A 1500	120 A 132	30 A 33
20 mm	2500 L/H	200 L/H	50 L/H	2250 A 2500	200 A 220	50 A 55
25 mm	3500 L/H	280 L/H	70 L/H	3150 A 3500	280 A 308	70 A 77
MEDIDORES CLASE C						
DIAMETRO	QP	QT	QMIN	AJUSTE DE CAUDAL L/H		
				QP	QT	QMIN
15 mm	1500 L/H	22.5 L/H	15 L/H	1350 A 1500	22.5 A 24.7	15 A 16.5
20 mm	2500 L/H	37.5 L/H	25 L/H	2250 A 2500	37.5 A 41.25	25 A 27.5
25 mm	3500 L/H	52.5 L/H	35 L/H	3150 A 3500	52.5 A 57.75	35 A 38.5

DIAMETRO ½" CON Q3= 1						
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1	AJUSTE DE CAUDAL L/H		
				Q3	Q2	Q1
R40	1000 L/H	40.00 L/H	25.00 L/H	900 A 1000	40.00 A 44.00	25.00 A 27.50
R50	1000 L/H	32.00 L/H	20.00 L/H	900 A 1000	32.00 A 35.20	20.00 A 22.00
R60	1000 L/H	26.67 L/H	16.67 L/H	900 A 1000	26.67 A 29.33	16.67 A 18.33
R80	1000 L/H	20.00 L/H	12.50 L/H	900 A 1000	20.00 A 22.00	12.50 A 13.75
R100	1000 L/H	16.00 L/H	10.00 L/H	900 A 1000	16.00 A 17.60	10.00 A 11.00
R125	1000 L/H	12.80 L/H	8.00 L/H	900 A 1000	12.80 A 14.08	8.00 A 8.80
R160	1000 L/H	10.00 L/H	6.25 L/H	900 A 1000	10.00 A 11.00	6.25 A 6.88
R200	1000 L/H	8.00 L/H	5.00 L/H	900 A 1000	8.00 A 8.80	5.00 A 5.50
R250	1000 L/H	6.40 L/H	4.00 L/H	900 A 1000	6.40 A 7.04	4.00 A 4.40
R315	1000 L/H	5.08 L/H	3.17 L/H	900 A 1000	5.08 A 5.59	3.17 A 3.49
R400	1000 L/H	4.00 L/H	2.50 L/H	900 A 1000	4.00 A 4.40	2.50 A 2.75

DIAMETRO ½" & ¾" CON Q3= 1.6						
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1	AJUSTE DE CAUDAL L/H		
				Q3	Q2	Q1
R40	1600 L/H	64.00 L/H	40.00 L/H	1440 A 1600	64.00 A 70.40	40.00 A 44.00
R50	1600 L/H	51.20 L/H	32.00 L/H	1440 A 1600	51.20 A 56.32	32.00 A 35.20
R60	1600 L/H	42.67 L/H	26.67 L/H	1440 A 1600	42.67 A 46.93	26.67 A 29.33
R80	1600 L/H	32.00 L/H	20.00 L/H	1440 A 1600	32.00 A 35.20	20.00 A 22.00
R100	1600 L/H	25.60 L/H	16.00 L/H	1440 A 1600	25.60 A 28.16	16.00 A 17.60
R125	1600 L/H	20.48 L/H	12.80 L/H	1440 A 1600	20.48 A 22.53	12.80 A 14.08
R160	1600 L/H	16.00 L/H	10.00 L/H	1440 A 1600	16.00 A 17.60	10.00 A 11.00
R200	1600 L/H	12.80 L/H	8.00 L/H	1440 A 1600	12.80 A 14.08	8.00 A 8.80
R250	1600 L/H	10.24 L/H	6.40 L/H	1440 A 1600	10.24 A 11.26	6.40 A 7.04
R315	1600 L/H	8.13 L/H	5.08 L/H	1440 A 1600	8.13 A 8.94	5.08 A 5.59
R400	1600 L/H	6.40 L/H	4.00 L/H	1440 A 1600	6.40 A 7.04	4.00 A 4.40

DIAMETRO ½" & ¾" CON Q3= 2.5									
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1						
				Q3	Q2	Q1			
R40	2500 L/H	100.00 L/H	62.50 L/H	2250 A 2500	100.00 A 110.00	62.50 A 68.75			
R50	2500 L/H	80.00 L/H	50.00 L/H	2250 A 2500	80.00 A 88.00	50.00 A 55.00			
R60	2500 L/H	66.67 L/H	41.67 L/H	2250 A 2500	66.67 A 73.33	41.67 A 45.83			
R80	2500 L/H	50.00 L/H	31.25 L/H	2250 A 2500	50.00 A 55.00	31.25 A 34.38			
R100	2500 L/H	40.00 L/H	25.00 L/H	2250 A 2500	40.00 A 44.00	25.00 A 27.50			
R125	2500 L/H	32.00 L/H	20.00 L/H	2250 A 2500	32.00 A 35.20	20.00 A 22.00			
R160	2500 L/H	25.00 L/H	15.63 L/H	2250 A 2500	25.00 A 27.50	15.63 A 17.19			
R200	2500 L/H	20.00 L/H	12.50 L/H	2250 A 2500	20.00 A 22.00	12.50 A 13.75			
R250	2500 L/H	16.00 L/H	10.00 L/H	2250 A 2500	16.00 A 17.60	10.00 A 11.00			
R315	2500 L/H	12.70 L/H	7.94 L/H	2250 A 2500	12.70 A 13.97	7.94 A 8.73			
R400	2500 L/H	10.00 L/H	6.25 L/H	2250 A 2500	10.00 A 11.00	6.25 A 6.88			

DIAMETRO ¾" & 1" CON Q3= 4									
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1						
				Q3	Q2	Q1			
R40	4000 L/H	160.00 L/H	100.00 L/H	3600 A 4000	160.00 A 176.00	100.00 A 110.00			
R50	4000 L/H	128.00 L/H	80.00 L/H	3600 A 4000	128.00 A 140.80	80.00 A 88.00			
R60	4000 L/H	106.67 L/H	66.67 L/H	3600 A 4000	106.67 A 117.33	66.67 A 73.33			
R80	4000 L/H	80.00 L/H	50.00 L/H	3600 A 4000	80.00 A 88.00	50.00 A 55.00			
R100	4000 L/H	64.00 L/H	40.00 L/H	3600 A 4000	64.00 A 70.40	40.00 A 44.00			
R125	4000 L/H	51.20 L/H	32.00 L/H	3600 A 4000	51.20 A 56.32	32.00 A 35.20			
R160	4000 L/H	40.00 L/H	25.00 L/H	3600 A 4000	40.00 A 44.00	25.00 A 27.50			
R200	4000 L/H	32.00 L/H	20.00 L/H	3600 A 4000	32.00 A 35.20	20.00 A 22.00			
R250	4000 L/H	25.60 L/H	16.00 L/H	3600 A 4000	25.60 A 28.16	16.00 A 17.60			
R315	4000 L/H	20.32 L/H	12.70 L/H	3600 A 4000	20.32 A 22.35	12.70 A 13.97			
R400	4000 L/H	16.00 L/H	10.00 L/H	3600 A 4000	16.00 A 17.60	10.00 A 11.00			

DIAMETRO 1" CON Q3= 6.3									
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1						
				Q3	Q2	Q1			
R40	6300 L/H	252.00 L/H	157.50 L/H	5670 A 6300	252.00 A 277.20	157.50 A 173.25			
R50	6300 L/H	201.60 L/H	126.00 L/H	5670 A 6300	201.60 A 221.76	126.00 A 138.60			
R60	6300 L/H	168.00 L/H	105.00 L/H	5670 A 6300	168.00 A 184.80	105.00 A 115.50			
R80	6300 L/H	126.00 L/H	78.75 L/H	5670 A 6300	126.00 A 138.60	78.75 A 86.63			
R100	6300 L/H	100.80 L/H	63.00 L/H	5670 A 6300	100.80 A 110.88	63.00 A 69.30			
R125	6300 L/H	80.64 L/H	50.40 L/H	5670 A 6300	80.64 A 88.70	50.40 A 55.44			
R160	6300 L/H	63.00 L/H	39.38 L/H	5670 A 6300	63.00 A 69.30	39.38 A 43.31			
R200	6300 L/H	50.40 L/H	31.50 L/H	5670 A 6300	50.40 A 55.44	31.50 A 34.65			
R250	6300 L/H	40.32 L/H	25.20 L/H	5670 A 6300	40.32 A 44.35	25.20 A 27.72			
R315	6300 L/H	32.00 L/H	20.00 L/H	5670 A 6300	32.00 A 35.20	20.00 A 22.00			
R400	6300 L/H	25.20 L/H	15.75 L/H	5670 A 6300	25.20 A 27.72	15.75 A 17.33			

DIAMETRO 1" CON Q3= 10						
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1			
				Q3	Q2	Q1
R40	10000 L/H	400.00 L/H	250.00 L/H	9000 A 10000	400.00 A 440.00	250.00 A 275.00
R50	10000 L/H	320.00 L/H	200.00 L/H	9000 A 10000	320.00 A 352.00	200.00 A 220.00
R60	10000 L/H	266.67 L/H	166.67 L/H	9000 A 10000	266.67 A 293.33	166.67 A 183.33
R80	10000 L/H	200.00 L/H	125.00 L/H	9000 A 10000	200.00 A 220.00	125.00 A 137.50
R100	10000 L/H	160.00 L/H	100.00 L/H	9000 A 10000	160.00 A 176.00	100.00 A 110.00
R125	10000 L/H	128.00 L/H	80.00 L/H	9000 A 10000	128.00 A 140.80	80.00 A 88.00
R160	10000 L/H	100.00 L/H	62.50 L/H	9000 A 10000	100.00 A 110.00	62.50 A 68.75
R200	10000 L/H	80.00 L/H	50.00 L/H	9000 A 10000	80.00 A 88.00	50.00 A 55.00
R250	10000 L/H	64.00 L/H	40.00 L/H	9000 A 10000	64.00 A 70.40	40.00 A 44.00
R315	10000 L/H	50.79 L/H	31.75 L/H	9000 A 10000	50.79 A 55.87	31.75 A 34.92
R400	10000 L/H	40.00 L/H	25.00 L/H	9000 A 10000	40.00 A 44.00	25.00 A 27.50

MARCO NORMATIVO

NTC-ISO/IEC 4064-1 a 5: 2016. Especifica los requisitos metrológicos y técnicos de los medidores de agua para agua potable fría y agua caliente que fluye a través de un conducto cerrado y completamente cargado.

Las series de normas ISO 4064 elaboradas en 201 (5 partes), son idénticas a la serie OIML R 49 elaboradas en 2013.

Además de los medidores de agua basados en principios mecánicos, esta parte de la norma NTC-ISO 4064 se aplica a dispositivos basados en principios eléctricos o electrónicos y en principios mecánicos que incorporan dispositivos electrónicos, que se utilizan para medir el volumen de agua potable fría y agua caliente.

La norma NTC-ISO 4064 también se aplica a dispositivos electrónicos auxiliares. Estos dispositivos son opcionales. Sin embargo, es posible que los reglamentos nacionales o regionales citen algunos dispositivos auxiliares obligatorios con respecto a la utilización de los medidores de agua.

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

- Puntualizar los parámetros metrológicos ligados en el proceso de calibración de un medidor de agua potable fría por el método de “Recolección” conforme a la norma NTC-ISO 4064-2.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Brindar una metodología y procedimientos para evaluar en los medidores diferentes parámetros metrológicos como exactitud, precisión, linealidad, incertidumbre Identificar los principales parámetros metrológicos que resultan de la calibración de un medidor de agua potable fría.
- Conocer las partes, funcionamiento y tipos de medidores de agua potable fría de 15 mm con clase metrológica R160.
- Describir los componentes básicos y principio de operación de un banco de calibración de medidores de agua.
- Proponer el estudio de esta área en los diferentes programas de la universidad de Cartagena, en especial al programa de metrología industrial.
- Suministrar bases teóricas-experimentales para la construcción del saber hacer en asignaturas correspondientes a la calibración en el programa de metrología.

7. EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA.

EQUIPO BAJO PRUEBA

Figura 9. Características Medidor bajo prueba (IBP)



Fabricante: DIEHL

Modelo: ALTAIR

Tipo: Volumétrico

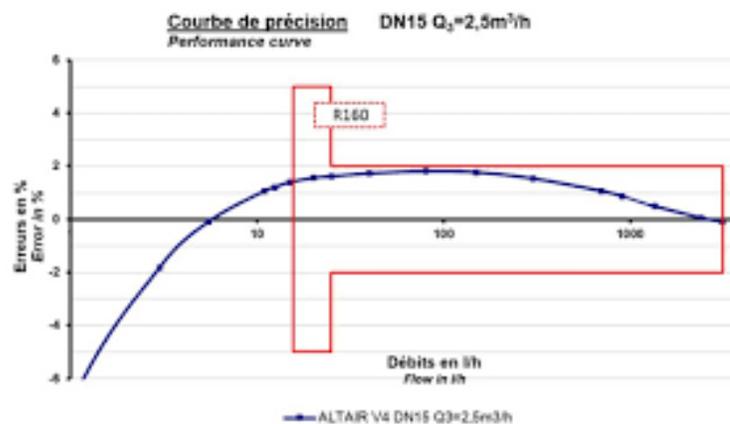
Diámetro: 15 mm

Div. Escala: 0,02 L

Clase Metroológica: R160

Precisión: 2

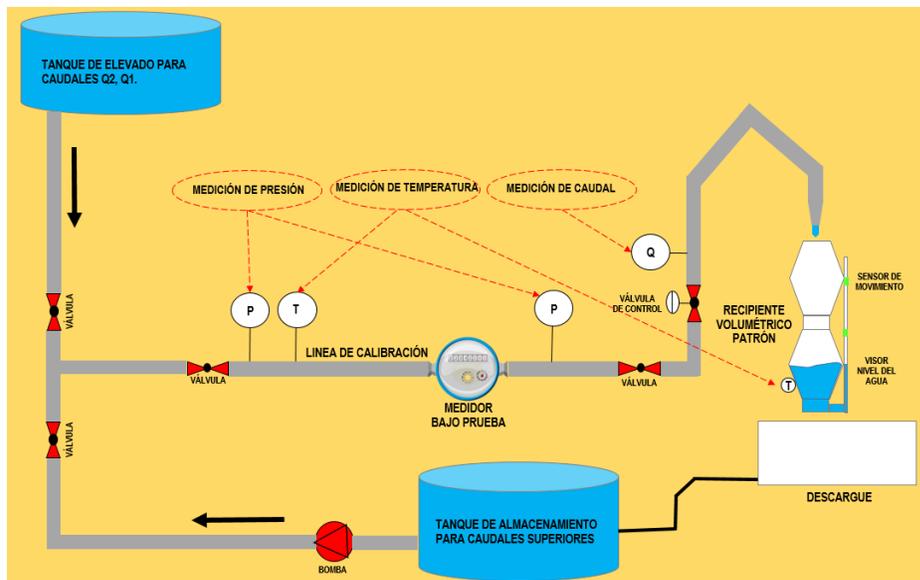
Año de Fabricación: 2017



Banco de calibración de medidores de agua, el cual comprende:

- Sistema de suministro de agua.
 - Tubería principal
 - Tanques no presurizados tanque elevado - Tanque subterráneo
 - Bombas - Motobombas multi etapas
- Sección de ensayo, Instrumentos para medir y establecer el caudal
 - Caudalímetros electromagnéticos
- Área de montaje de los medidores de agua
 - Instrumentos para medir la presión del agua o Manómetros y transmisores de presión
 - Instrumentos para medir la temperatura del agua o Termómetros digitales con termo resistencias PT100

Figura 10. Instrumentos y variables de trabajo en el banco de calibración



- Sección de Automatización y sistemas de apoyo
 - PLC
 - Software

- Sistema Neumático

Figura 11. Banco de Calibración de medidores de Agua.

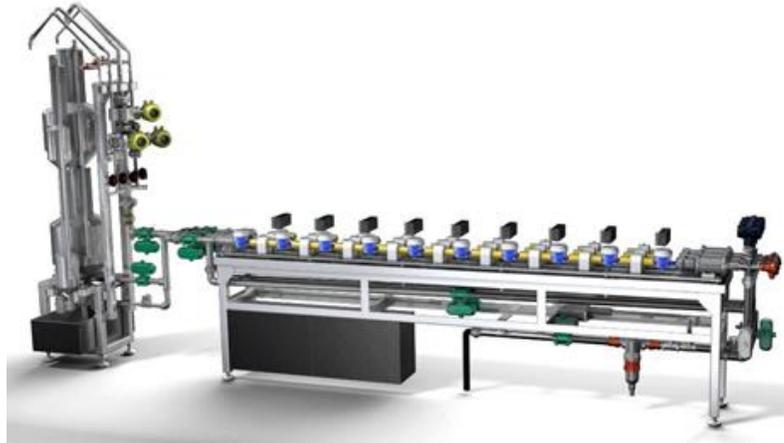
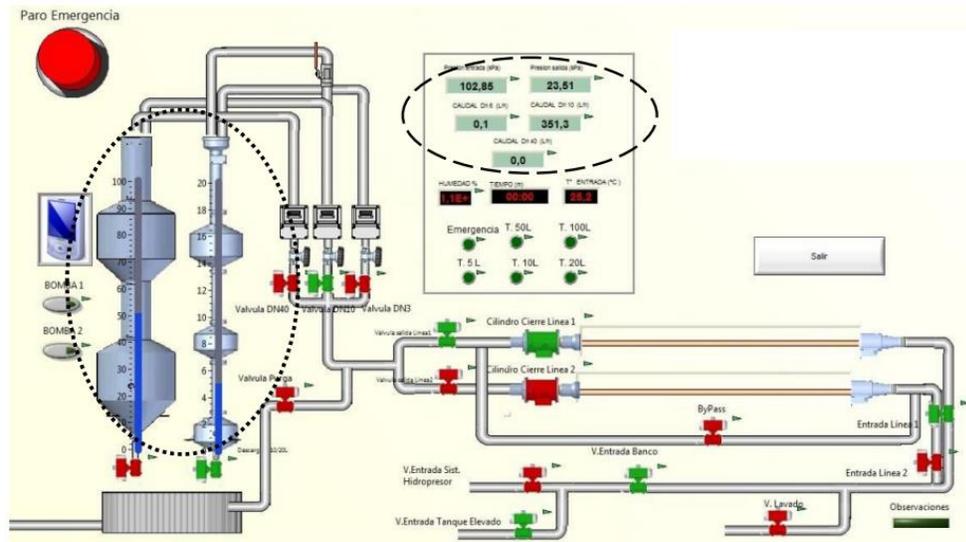


Figura 12. Aplicativo utilizado en la calibración del IBP



8. PROCESO DE CALIBRACIÓN

8.1. EXAMEN EXTERNO

El primer paso para iniciar el proceso de calibración consiste en Verificar que el medidor de agua satisface los requisitos de la NTC-ISO 4064-1 con respecto al diseño del dispositivo indicador, el rotulado del medidor y la aplicación de los dispositivos protectores

Se deben examinar los siguientes aspectos del diseño de un medidor

- Verificar que el dispositivo indicador suministra una indicación visual fácil de leer, confiable y sin ambigüedad del volumen indicado
- Verificar si el dispositivo indicador incluye los medios visuales para los ensayos y la calibración
- Verificar que el volumen de agua indicado se expresa en metros cúbicos.
- Verificar que el símbolo m³ aparece sobre el dial o inmediatamente adyacente a la pantalla numerada.

Las características a conocer antes de proceder con la calibración del medidor corresponden a:

- Clase Metrológica
- Diámetro nominal
- Caudales de prueba
- El intervalo de indicación del registro del medidor
- Tipo de dispositivo indicador
- Forma de la escala de verificación
- Resolución del dispositivo indicador
- Dispositivos de protección
- Dirección del flujo.

Nota: al tratarse de medidores usados, que debido a su uso son expuestos a ir careciendo de sus aspectos iniciales debido a las formas de uso del mismo, por tal motivo hay factores que imposibilitan la calibración, como por ejemplo que se encuentre fisurada la cúpula, si se trata de un medidor de agujas que estas estén sueltas, las roscas para el montaje en el banco de pruebas estén

deformadas, la identificación de los números de los dispositivos indicadores sea ilegible, entre otras más.

8.2. ENSAYO DE DESEMPEÑO

8.2.1. Condiciones requeridas para la realización de la calibración

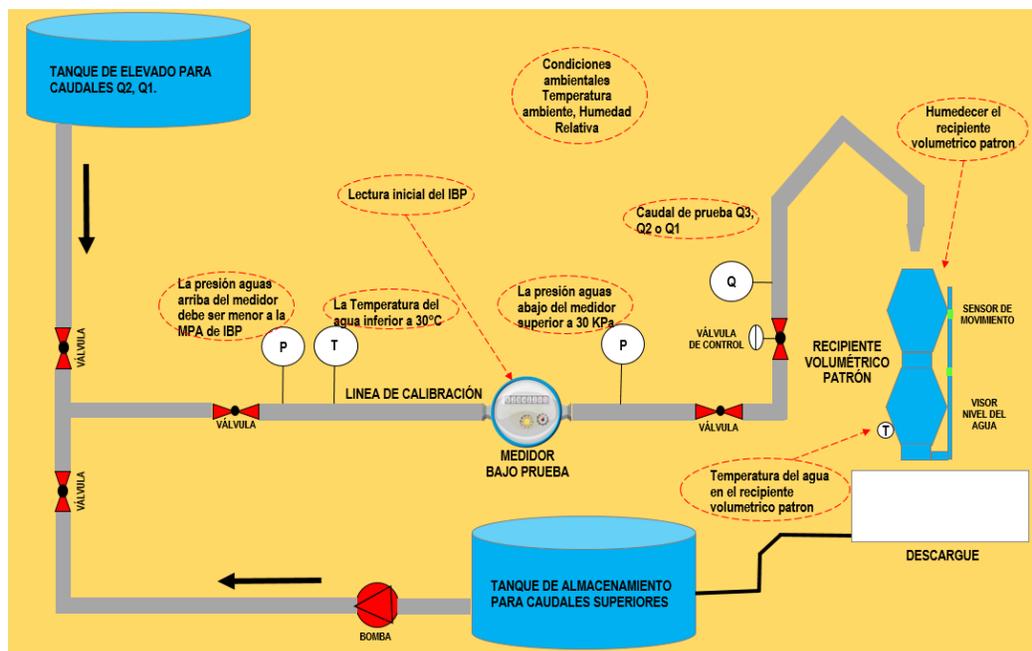
Los ensayos de los medidores de agua se deben ejecutar usando agua. El agua debe ser la del suministro público de agua potable o debe satisfacer sus mismos requisitos. El agua no debe contener ninguna sustancia que pudiera dañar el medidor o afectar adversamente su operación. Esta no debe contener burbujas de aire.

Si el agua se recicla, se deben tomar medidas para evitar que el agua residual del medidor se torne dañina para los seres humanos

Durante los ensayos, la presión manométrica en la salida de cada medidor debe ser como mínimo de 0,03 MPa (0,3 bar) y debe ser suficiente para evitar la cavitación.

Debe ser posible llevar a cabo las lecturas del ensayo rápida y fácilmente.

Figura 13. Datos iniciales en la calibración de un medidor de Agua.



8.3. Montaje de los medidores en el banco de pruebas

8.3.1. Selección del medidor

En la calibración en conjunto de medidores de agua potable los medidores deben tener las mismas características metrológicas, clase, diámetro son los principales requisitos que los medidores deben tener en común para una calibración colectiva.

8.3.2. Montaje y alistamiento

Los medidores deben estar montados en el banco de prueba de tal modo que el sistema de acoples sea hermético, a través del embridaje de cilindros neumáticos. Los medidores son dispuestos en funcionamiento a caudales superiores y en presión estática con el objetivo de verificación de fugas. En caso de que ocurran incidencias, como fugas, no es posible realizar el proceso de calibración al medidor defectuoso.

8.3.3. Determinación de caudales de prueba y Definición del Patrón.

Los caudales de pruebas a los que serán sometidos los medidores son:

- Q_1/Q_{\min} : Caudal Mínimo
- Q_2/Q_t : Caudal de Transición
- Q_3/Q_p : Caudal Permanente

Para la selección y operación de los caudales de prueba debe tenerse en cuenta la clase metrológica del medidor, su caudal nominal (Q_p) y su diámetro. Con estas características definidas son determinados los caudales de prueba de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.

En la definición de los volúmenes patrones en las pruebas Q_2/Q_t y Q_3/Q_p la elección del volumen patrón debe ser tal que la duración de la prueba sea mayor a un (1) minuto. Por definición de norma para el caudal mínimo el volumen permitido debe ser superior o igual al cálculo de la resolución del IBP por doscientos (200).

8.3.4. Condiciones de prueba.

La verificación de las condiciones ambientales está centrada de acuerdo a los siguientes datos:

- Temperatura ambiente: 15 °C a 25 °C
- Humedad relativa: 45% HR a 75% HR
- Presión de salida > 0.03 MPa

8.4. Prueba de Caudal Permanente Qp

Después de realizados los pasos anteriores, preparación de los medidores en el banco de prueba, humedecer y el drenaje del recipiente colector (patrón), y seleccionada el tipo de prueba a realizar (es recomendado empezar por la prueba de caudal superior Qp, influye en el acondicionamiento de las pruebas de caudal inferior).

A través del encendido de una bomba de agua es ajustado el caudal de prueba en el rango establecido para los medidores R160 15 mm (2250 L/h a 2500 L/h) este valor es visualizado por medio de un caudalímetro ubicado en la salida del banco de calibración.

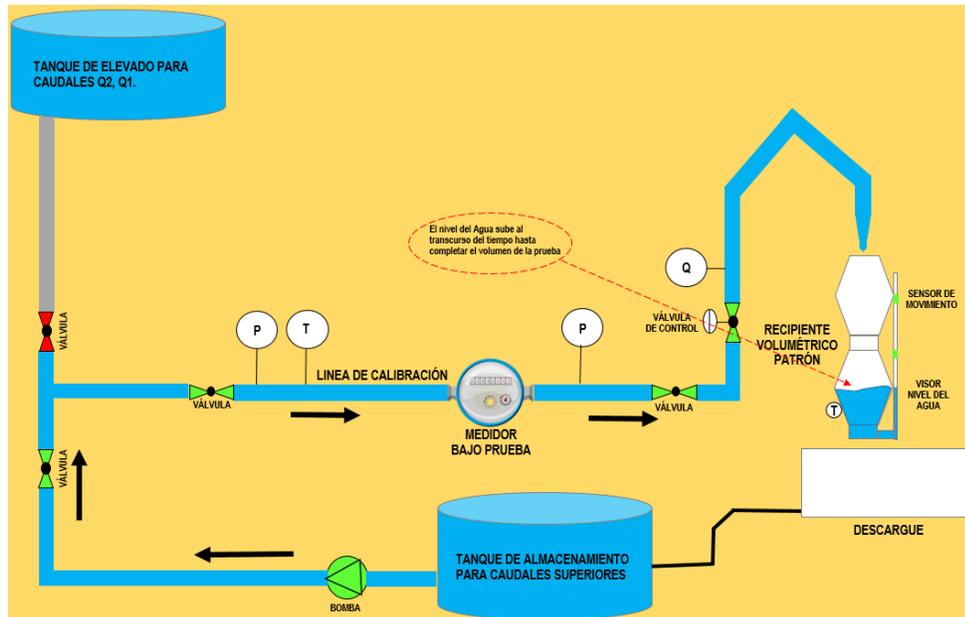
Tabla 4. Rango de caudal de prueba para Qp.

DIAMETRO ½" & ¾" CON Q3= 2.5								
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1					
				Q3	Q2	Q1		
R40	2500 L/H	100.00 L/H	62.50 L/H	2250 A 2500	100.00 A 110.00	62.50 A 68.75		
R50	2500 L/H	80.00 L/H	50.00 L/H	2250 A 2500	80.00 A 88.00	50.00 A 55.00		
R60	2500 L/H	66.67 L/H	41.67 L/H	2250 A 2500	66.67 A 73.33	41.67 A 45.83		
R80	2500 L/H	50.00 L/H	31.25 L/H	2250 A 2500	50.00 A 55.00	31.25 A 34.38		
R100	2500 L/H	40.00 L/H	25.00 L/H	2250 A 2500	40.00 A 44.00	25.00 A 27.50		
R125	2500 L/H	32.00 L/H	20.00 L/H	2250 A 2500	32.00 A 35.20	20.00 A 22.00		
R160	2500 L/H	25.00 L/H	15.63 L/H	2250 A 2500	25.00 A 27.50	15.63 A 17.19		
R200	2500 L/H	20.00 L/H	12.50 L/H	2250 A 2500	20.00 A 22.00	12.50 A 13.75		
R250	2500 L/H	16.00 L/H	10.00 L/H	2250 A 2500	16.00 A 17.60	10.00 A 11.00		
R315	2500 L/H	12.70 L/H	7.94 L/H	2250 A 2500	12.70 A 13.97	7.94 A 8.73		
R400	2500 L/H	10.00 L/H	6.25 L/H	2250 A 2500	10.00 A 11.00	6.25 A 6.88		

La presión de entrada del medidor debe ser inferior a la máxima presión admisible por el medidor indicada en el rotulado del mismo, en este caso la presión de entrada debe estar por debajo de 16 bar (1600 kPa), así mismo la presión de

salida, indistintamente de la clase metrológica o diámetro del medidor, debe ser superior a 0.03 bar (30 kPa)

Figura 14. Prueba en Ejecución.



La elección del volumen patrón varía acorde a los valores de caudal de prueba, en todo caso la duración de la prueba de caudal permanente debe ser mayor de un (1) minuto, el volumen seleccionado es de 50 L para una duración de prueba comprendida entre 1:12 minutos a 1:20 minutos.

Una vez fijadas todas las condiciones de prueba la toma de lecturas de medidores iniciales y finales es realizada en litros (L),

- Es tomada la lectura antes de iniciar la prueba,
- Inicio de prueba,
- Monitoreo de las variables físicas de la prueba, Caudal, presión de entrada y salida, Temperatura de ambiente, medidores, entrada y del patrón, tiempo, humedad relativa,
- Fin de prueba, el fin de la prueba está condicionada a través de la activación de un sensor de movimiento ubicado en el visor de nivel del tanque patrón, el movimiento indica que el nivel del agua está dentro de los valores de la escala del tanque patrón,
- Toma de lectura final registrada por el medidor,

- Para la lectura del volumen recolectado por el recipiente patrón el tiempo espera de estabilización del nivel es de dos (2) minutos.
- De este modo el registro de volumen del IBP será la resta de la lectura final con la inicial.
- Por prueba son realizadas un mínimo de tres (3) repeticiones, para un intervalo de confianza aproximado al 95%.

8.5. Prueba de Caudal Transición

Realizada la prueba anterior Qp, A través del accionamiento de la válvula del tanque elevado es ajustado el caudal de prueba en el rango establecido para los medidores R160 15 mm (25 L/h a 27.5 L/h) este valor es visualizado por medio de un caudalímetro ubicado en la salida del banco de calibración.

Tabla 5. Rango de caudal de prueba para Qt.

DIAMETRO ½" & ¾" CON Q3= 2.5						
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1			
				Q3	Q2	Q1
R40	2500 L/H	100.00 L/H	62.50 L/H	2250 A 2500	100.00 A 110.00	62.50 A 68.75
R50	2500 L/H	80.00 L/H	50.00 L/H	2250 A 2500	80.00 A 88.00	50.00 A 55.00
R60	2500 L/H	66.67 L/H	41.67 L/H	2250 A 2500	66.67 A 73.33	41.67 A 45.83
R80	2500 L/H	50.00 L/H	31.25 L/H	2250 A 2500	50.00 A 55.00	31.25 A 34.38
R100	2500 L/H	40.00 L/H	25.00 L/H	2250 A 2500	40.00 A 44.00	25.00 A 27.50
R125	2500 L/H	32.00 L/H	20.00 L/H	2250 A 2500	32.00 A 35.20	20.00 A 22.00
R160	2500 L/H	25.00 L/H	15.63 L/H	2250 A 2500	25.00 A 27.50	15.63 A 17.19
R200	2500 L/H	20.00 L/H	12.50 L/H	2250 A 2500	20.00 A 22.00	12.50 A 13.75
R250	2500 L/H	16.00 L/H	10.00 L/H	2250 A 2500	16.00 A 17.60	10.00 A 11.00
R315	2500 L/H	12.70 L/H	7.94 L/H	2250 A 2500	12.70 A 13.97	7.94 A 8.73
R400	2500 L/H	10.00 L/H	6.25 L/H	2250 A 2500	10.00 A 11.00	6.25 A 6.88

La presión de entrada del medidor debe ser inferior a la máxima presión admisible por el medidor indicada en el rotulado del mismo, en este caso la presión de entrada debe estar por debajo de 16 bar (1600 kPa), así mismo la presión de salida, indistintamente de la clase metrológica o diámetro del medidor, debe ser superior a 0.03 bar (30 kPa)

La elección del volumen patrón varia acorde a los valores de caudal de prueba, en todo caso la duración de la prueba de caudal permanente debe ser mayor de un (1) minuto, el volumen seleccionado es de 10 L para una duración de prueba comprendida entre 21.8 minutos a 24 minutos.

Una vez fijadas todas las condiciones de prueba la toma de lecturas de medidores iniciales y finales es realizada en litros (L),

- Es tomada la lectura antes de iniciar la prueba,
- Inicio de prueba,
- Monitoreo de las variables físicas de la prueba, Caudal, presión de entrada y salida, Temperatura de ambiente, medidores, entrada y del patrón, tiempo, humedad relativa,
- Fin de prueba, el fin de la prueba está condicionada a través de la activación de un sensor de movimiento ubicado en el visor de nivel del tanque patrón, el movimiento indica que el nivel del agua está dentro de los valores de la escala del tanque patrón,
- Toma de lectura final registrada por el medidor,
- Para la lectura del volumen recolectado por el recipiente patrón el tiempo espera de estabilización del nivel es de dos (2) minutos.
- De este modo el registro de volumen del IBP será la resta de la lectura final con la inicial.
- Por prueba son realizadas un mínimo de tres (3) repeticiones, para un intervalo de confianza aproximado al 95%.

8.6. Prueba de Caudal Mínimo

Realizada la prueba anterior Q_t , A través del accionamiento de la valvula del tanque elevado es ajustado el caudal de prueba en el rango establecido para los medidores R160 15 mm (15.63 L/h a 17.19 L/h) este valor es visualizado por medio de un caudalímetro ubicado en la salida del banco de calibración.

Por definición de norma para el caudal mínimo el volumen permitido debe ser superior o igual al cálculo de la resolución del IBP por doscientos (200).

D.E: 0.02 L

Re: 0.01 L

Vprueba = $(D.E/2) * 200$ ó $(Re*200)$

Vprueba = 2 L

Donde;

D.E: división de escala del IBP

Re: resolución del IBP

Vprueba: Volumen de prueba.

el volumen seleccionado es de 5 L, debido a la inexistencia de un patrón de ese valor, la duración de prueba está comprendida entre 17.45 minutos a 19.19 minutos.

Tabla 6. Rango de caudal de prueba para Qmin.

DIAMETRO ½" & ¾" CON Q3= 2.5						
Clase Metrologica	Q3	Q2	Q1			
				Q3	Q2	Q1
R40	2500 L/H	100.00 L/H	62.50 L/H	2250 A 2500	100.00 A 110.00	62.50 A 68.75
R50	2500 L/H	80.00 L/H	50.00 L/H	2250 A 2500	80.00 A 88.00	50.00 A 55.00
R60	2500 L/H	66.67 L/H	41.67 L/H	2250 A 2500	66.67 A 73.33	41.67 A 45.83
R80	2500 L/H	50.00 L/H	31.25 L/H	2250 A 2500	50.00 A 55.00	31.25 A 34.38
R100	2500 L/H	40.00 L/H	25.00 L/H	2250 A 2500	40.00 A 44.00	25.00 A 27.50
R125	2500 L/H	32.00 L/H	20.00 L/H	2250 A 2500	32.00 A 35.20	20.00 A 22.00
R160	2500 L/H	25.00 L/H	15.63 L/H	2250 A 2500	25.00 A 27.50	15.63 A 17.19
R200	2500 L/H	20.00 L/H	12.50 L/H	2250 A 2500	20.00 A 22.00	12.50 A 13.75
R250	2500 L/H	16.00 L/H	10.00 L/H	2250 A 2500	16.00 A 17.60	10.00 A 11.00
R315	2500 L/H	12.70 L/H	7.94 L/H	2250 A 2500	12.70 A 13.97	7.94 A 8.73
R400	2500 L/H	10.00 L/H	6.25 L/H	2250 A 2500	10.00 A 11.00	6.25 A 6.88

Una vez fijadas todas las condiciones de prueba la toma de lecturas de medidores iniciales y finales es realizada en litros (L),

- Es tomada la lectura antes de iniciar la prueba,
- Inicio de prueba,
- Monitoreo de las variables físicas de la prueba, Caudal, presión de entrada y salida, Temperatura de ambiente, medidores, entrada y del patrón, tiempo, humedad relativa,
- Fin de prueba, el fin de la prueba está condicionada a través de la activación de un sensor de movimiento ubicado en el visor de nivel del tanque patrón, el movimiento indica que el nivel del agua está dentro de los valores de la escala del tanque patrón,
- Toma de lectura final registrada por el medidor,
- Para la lectura del volumen recolectado por el recipiente patrón el tiempo espera de estabilización del nivel es de dos (2) minutos.
- De este modo el registro de volumen del IBP será la resta de la lectura final con la inicial.

- Por prueba son realizadas un mínimo de tres (3) repeticiones, para un intervalo de confianza aproximado al 95%.

8.7. EXACTITUD (ERROR) DEL IBP

La exactitud en el proceso de calibración de un medidor de agua potable R160, así como en otro proceso de calibración de diferentes instrumentos o equipos de medida, se basa en la concordancia o proximidad en los valores del mensurando del IBP con relación al patrón de medida.

De este modo en la calibración del medidor de agua potable en ejecución el cálculo de la exactitud se da en términos de inexactitud (error) por medio de la ecuación del error relativo porcentual, a través de los valores de lectura inicial y final está el valor registrado por el medidor y el valor registrado por el patrón, la diferencia entre estos dos demuestra el error alcanzado por el IBP, si lo hay.

Figura 15. Datos Finales en la calibración de un Medidor de Agua.

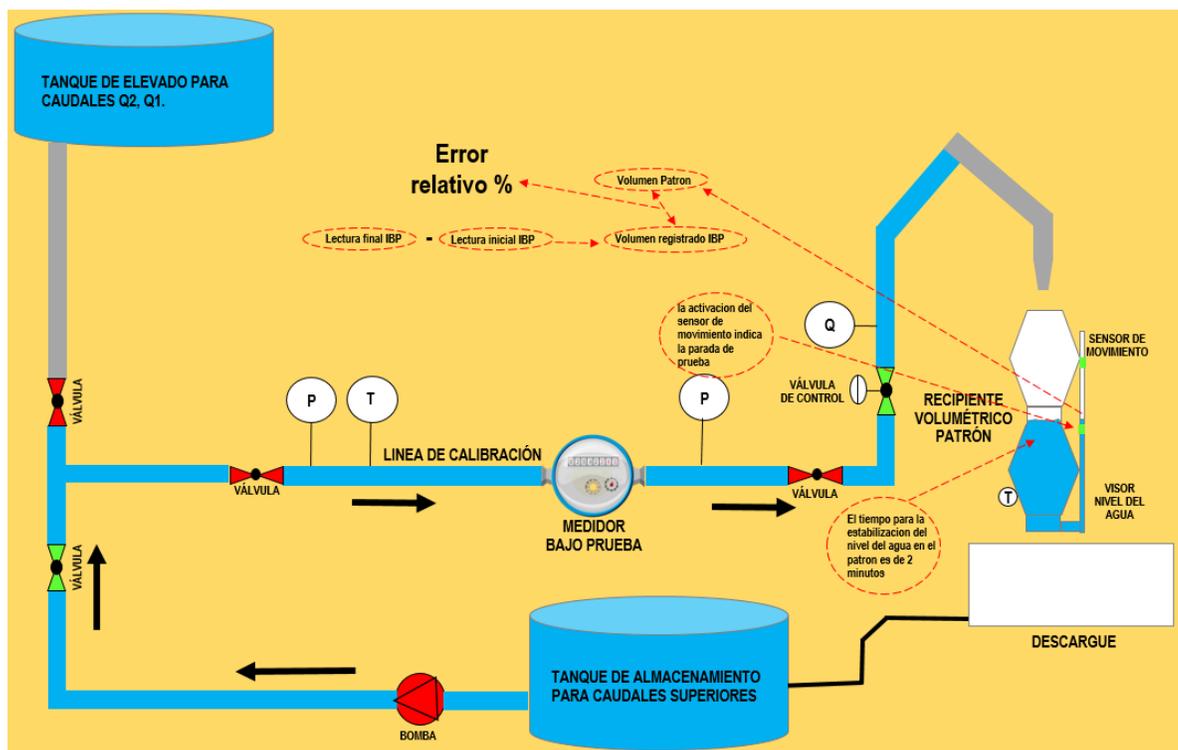


Tabla 7. Ejemplo determinación exactitud medidor de agua.

LECTURAS EN EL MEDIDOR				Indicación patrón (L)	Indicación patrón corregido (L)	Error	Error porcentual relativo %	Exactitud %
Nº	Lectura inicial (L)	Lectura final (L)	Volumen medidor (L)					
1	1445186.92	1445286.72	99.8	100.1	100.13	-0.33	-0.33	99.67 %

Para la determinación de los errores de indicación se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 1. Error Relativo. NTC-GTC-214.

$$E\% = \frac{(V. ibp - V.p)}{V.p} * 100$$

Donde;

E%: error porcentual relativo al patrón de medición.

V.ibp: Volumen indicado por el instrumento bajo prueba.

V.p: Volumen del recipiente patrón.

8.8. PRECISIÓN

En el proceso de calibración de un medidor de agua potable se realizan 3 repeticiones por prueba para asegurar la concordancia entre los volúmenes registrados por el IBP con respecto a los otros volúmenes registrados.

De este modo el cálculo de la desviación estándar es la forma más práctica de determinar la proximidad entre todos los valores.

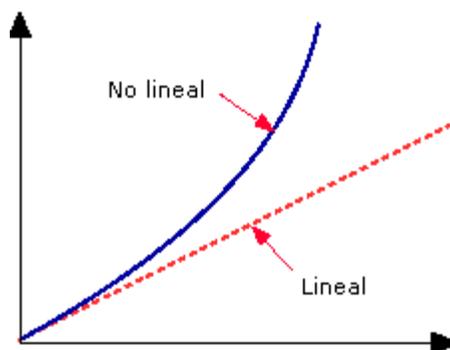
Tabla 8. Ejemplo determinación precisión medidor de agua. DS (desviación estándar).

LECTURAS EN EL MEDIDOR				Indicación patrón (L)	Indicación patrón corregido (L)	Error	Error porcentual relativo %	Exactitud %
N°	Lectura inicial (L)	Lectura final (L)	Volumen medidor (L)					
1	1445186.92	1445286.72	99.8	100.1	100.13	-0.33	-0.33	99.67 %
2	1445286.72	1445386.92	100.2	100.4	100.43	-0.23	-0.23	99.77%
3	14451386.92	1445486.32	99.4	99.2	99.53	-0.13	-0.13	99.87%
Precisión (DS)			0.4					

8.9. LINEALIDAD EN TÉRMINOS DE EXACTITUD

La linealidad de la respuesta a patrones. La linealidad generalmente no es cuantificada pero es comprobada mediante inspección o utilizando pruebas de significancia de la no-linealidad.

Figura 16. Linealidad y no linealidad.



En la calibración de medidores de agua potable la linealidad en términos de exactitud este determinada a través de la proximidad de los valores de medida de IBP y del patrón de medida.

8.10. INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

La calibración de un medidor de agua incluye el determinar el error relativo de indicación del medidor en los valores de caudal definidos, el cual debe ir acompañado del valor de incertidumbre de la medida.

Para la estimación de la incertidumbre de medida de un medidor de agua se tendrán en cuenta las consideraciones mencionadas en Norma Técnica Colombiana GTC-214 "GUÍA PARA LA ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACION DE MEDIDORES DE AGUA", en el cual se define como se interrelacionan los diferentes aportes que puedan realizar factores como los instrumentos, variables de proceso (presión, temperatura), y otros elementos que puedan influenciar de manera significativa los resultados.

La incertidumbre de medida es un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

La incertidumbre de medida incluye componentes procedentes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociadas a correcciones y a valores asignados a patrones, así como la incertidumbre debida a la definición. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos estimados y en su lugar se tratan como componentes de incertidumbre.

En general, la incertidumbre de medida incluye numerosas componentes. Algunas pueden calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida, a partir de la distribución estadística de los valores que proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas.

Los componentes para estimar la incertidumbre de medida en la calibración de un medidor de agua son los siguientes:

- Instrumento bajo prueba:
 - Precisión del IBP (Repetibilidad).

- Recipiente volumétrico metálico (RVM):
 - Incertidumbre (μ) al trazo nominal del RVM (V_s)
 - Error vigente RVM (E_2)
 - Incertidumbre Deriva RVM
 - Incertidumbre (μ) División de escala RVM (δV_{is})

- Temperatura en el RVM:
 - Incertidumbre (μ) Termómetro RVM ($t's$)
 - Incertidumbre Deriva Termómetro RVM
 - División de escala de termómetro RVM (Rts)
 - Variación de temperatura en el RVM (Δts)
 - Error vigente termómetro en RVM (E2)

- Temperatura en el IBP:
 - Incertidumbre (μ) Termómetro aguas arriba ($t'x$)
 - Incertidumbre Deriva Termómetro Aguas arriba
 - División de escala de termómetro aguas arriba (Rtx)
 - Variación de temperatura en el agua (Δtx)
 - Error vigente termómetro aguas arriba (E2)

- *Presión de Entrada:*
 - Incertidumbre (μ) Manómetro aguas arriba ($P'x$)
 - Incertidumbre Deriva presión del agua
 - División de escala de Manómetro aguas arriba (RPx)
 - Variación de presión del agua (ΔPx)
 - Error vigente Manómetro aguas arriba (E2)

Volumen convencional

Se realizan varios procesos de medición independientes para poder determinar el volumen convencional, V_x como son:

- Volumen indicado por el patrón
- Medición de la temperatura del agua en el patrón utilizado
- Medición de la temperatura del agua, aguas arriba del primer medidor
- Medición de la presión del agua, aguas arriba del primer medidor.

A través de la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Volumen convencional. NTC-GTC-214.

$$V_x = (V_{is} + \delta V_{is}) [1 + \alpha_s (t_s - t_0)] [1 + \alpha_w (t_x - t_s)] [1 - k_w (P_x - P_s)]$$

En donde:

$\Delta Vi = V_{ix2} - V_{ix1}$:Diferencia en las indicaciones del medidor

$V_{ix2} - V_{ix1}$: Indicación del medidor en el inicio de la medición y al final de la medición

V_{ix2} ; δV_{ix1} : Correcciones debido a la división de escala finita de la indicación.

V_{is} : Volumen indicado en la escala de cuello del RVM recogida al final de la medición al trazo nominal

δV_{is} : Corrección del volumen indicado debido a la desigualdad en la división de escala del RVM de acuerdo con el certificado de calibración.

α_s : Coeficiente cubico de expansión térmica del material del RVM

t_s : Temperatura del agua en el RVM

t_0 : Temperatura de referencia es igual a 20 ° C

α_w : Coeficiente cubico de expansión térmica del agua,

t_x : Temperatura del agua a la entrada del primer medidor,

K_w : Coeficiente de compresibilidad del agua

P_s : Presión en el RVM (es cero si el exceso de presión es considerado)

P_x : Presión del agua suministrada a la entrada del primer medidor.

Tabla 9. Coeficientes para el cálculo del volumen real V_x

Coeficiente de expansion termica del acero (α_s)	4,50E-05
Coeficiente expansion termica del agua(α_w)	1,50E-04
Coeficiente de compresibilidad del agua (K_w)	4,60E-07

Incertidumbre estándar del volumen en el RVM patrón

Las fuentes de incertidumbre en el volumen en el RVM patrón están caracterizadas por:

- Incertidumbre de la calibración del RVM, dada en el certificado de calibración reportada como expandida.
- Deriva del RVM

Ecuación 3. Incertidumbre estándar volumen en el RVM. NTC-GTC-214.

$$\mu c(V_{is}) = \sqrt{(\mu(V_s))^2 * C_i^2 v_s + (\mu(DV_{is}))^2 * C_i^2 Dv_{is}}$$

Tabla 10. Incertidumbre estándar por sistema Patrón. NTC-GTC-214.

Fuente	uxi	Ci	Ci*uxi	(Ci*uxi) ²
calibracion μ(V'is)	$\frac{\mu}{k}$	1	*	*
deriva μ(DVis)	$\frac{ Ee - E1 }{2\sqrt{3}}$	1	*	*
SUMA				$\Sigma(Ci*uxi)^2$
incertidumbre estandar por sistema patron RVM μc(Vis)				$\sqrt{\Sigma(Ci*uxi)^2}$

Incertidumbre por la lectura del volumen en el RVM utilizado como patrón

El volumen de agua recolectado se determina dentro de un intervalo cercano al trazo nominal del RVM, dicha escala es calibrada por el mismo organismo que calibra el RVM y expresa el valor promedio de la escala con una desviación estándar, constituyéndose en una fuente de incertidumbre, la cual se evalúa como tipo B, con distribución rectangular.

Ecuación 4. Incertidumbre por lectura del volumen en el RVM. NTC-GTC-214.

$$\mu(\delta Vis) = \sqrt{n * \left(\frac{\mu \delta Vis}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

Dónde:

μ(δVis) : Incertidumbre estándar por la calibración de la escala del RVM

n : Es el número de divisiones de escala (arriba o abajo) partiendo del trazo nominal del RVM al cual llego el volumen recolectado.

Incertidumbre en la medición de la temperatura del agua en el RVM utilizado como patrón

La medición de la temperatura del agua en RVM se expresa como:

Ecuación 5. Incertidumbre en la temperatura del agua en el RVM. NTC-GTC-214.

$$t_s = t'_s + Rt_s + Dt_s + \Delta t_s$$

Dónde:

t_s : Es el valor medido de temperatura del agua en el RVM.

t'_s : Es el valor de temperatura corregido expresado en el certificado de calibración

Rt_s : Es la división de escala del termómetro utilizado

Dt_s : Es la deriva del termómetro entre dos periodos de calibración

Δt_s : Inestabilidad y la homogeneidad de la temperatura del agua en el RVM.

Utilizando la ley de propagación de incertidumbres ara combinar las incertidumbres estándar identificadas, mediante la siguiente ecuación;

Ecuación 6. Incertidumbre combinada aportada por el patrón. NTC-GTC-214.

$$\mu c(ts) = \sqrt{(\mu(t'_s))^2 * C^2 t'_s + (\mu(Rt_s))^2 * C^2 Rt_s + (\mu(Dt_s))^2 * C^2 Dt_s + (\mu(\Delta t_s))^2 * C^2 \Delta t_s}$$

Donde $C t'_s$, $C Rt_s$, $C Dt_s$, $C \Delta t_s$ son los coeficientes de sensibilidad, los cuales se calculan mediante la metodología de derivación parcial, se concluye que todas las variables son independientes por lo tanto el valor de cada coeficiente es igual a 1.

Incertidumbre aportada por el coeficiente cubico de expansión térmica del material del RVM

Esta fuente es una constante, cuyo valor varía dependiendo de la clase de acero inoxidable, generalmente construidos en aceros AISI de la serie 300, cuya incertidumbre estándar tipo B, y con un componente de distribución rectangular, su evaluación se debe realizar como sigue:

Ecuación 7. Incertidumbre por el material del Patrón Volumétrico RVM. NTC-GTC-214.

$$\mu (\alpha_w) = \frac{\Delta \alpha_w}{\sqrt{3}}$$

Incertidumbre en la medición de la temperatura del agua aguas arriba del primer medidor

Esta medición se expresa mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Incertidumbre dada por la temperatura del medidor. NTC-GTC-214.

$$t_x = t'_x + Rt_x + Dt_x + \Delta t_x$$

Dónde:

t_x : Es el valor medido de temperatura del agua en el RVM.

t'_x : Es el valor de temperatura corregido expresado en el certificado de calibración

Rt_x : Es la resolución del termómetro utilizado

Dt_x : Es la deriva del termómetro entre dos periodos de calibración

Δt_x : Inestabilidad de la temperatura del agua en el RVM

Utilizando la ley de propagación de incertidumbres para combinar las incertidumbres estándar identificadas, mediante la siguiente ecuación;

Ecuación 9. Incertidumbre combinada. NTC-GTC-214.

$$\mu c(t_x) = \sqrt{(\mu(t'_x)^2) * C^2 t'_x + (\mu(Rt_x)^2) * C^2 Rt_x + (\mu(Dt_x)^2) * C^2 Dt_x + (\mu(\Delta t_x)^2) * C^2 \Delta t_x}$$

Donde $C t'_x, CRt_x, CDt_x, C\Delta t_x$: Son los coeficientes de sensibilidad, los cuales se calculan mediante la metodología de derivación parcial, se concluye que todas las variables son independientes por lo tanto el valor de cada coeficiente es igual a 1.

Incertidumbre en la medición de la presión aguas arriba del primer medidor

Ecuación 10. Incertidumbre por Presión del agua de entrada del 1^{er} medidor. NTC-GTC-214.

$$P_x = P'_x + RP_x + DP_x + \Delta P_x$$

Dónde:

P_x : Es el valor medido de temperatura del agua en el RVM.

$P'x$: Es el valor de temperatura corregido expresado en el certificado de calibración

RPx : Es la resolución del termómetro utilizado

DPx : Es la deriva del termómetro entre dos periodos de calibración

ΔPx : Inestabilidad de la temperatura del agua en el RVM

Utilizando la ley de propagación de incertidumbres para combinar las incertidumbres estándar identificadas, mediante la siguiente ecuación;

Ecuación 11. Incertidumbre combinada. NTC-GTC-214.

$$\mu c(px) = \sqrt{(\mu(P'x))^2 * C^2 P'x + (\mu(RPx))^2 * C^2 RPx + (\mu(DPx))^2 * C^2 DPx + (\mu(\Delta Px))^2 * C^2 \Delta Px}$$

Donde $CP'x, CRPx, CDPx, C\Delta Px$: Son los coeficientes de sensibilidad, los cuales se calculan mediante la metodología de derivación parcial, se concluye que todas las variables son independientes por lo tanto el valor de cada coeficiente es igual a 1.

Combinación de fuentes de incertidumbre en la determinación del Volumen convencional

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres, con base a la ecuación 2 se obtiene

Ecuación 12. Incertidumbre combinada. NTC-GTC-214.

$$\mu c(Vx) = \sqrt{\mu C^2 Vis * C^2 Vis + \mu \delta^2 Vis * C^2 \delta Vis + \mu^2 \alpha s * C^2 \alpha s + \mu C^2 ts * C^2 ts + \mu^2 \alpha w * C^2 \alpha w + \mu C^2 tx * C^2 tx + \mu^2 kw * C^2 kw + \mu C^2 Px * C^2 Px}$$

Donde $CVis, C\delta Vis, C\alpha s, Cts, C\alpha w, Ctx, Ckw, CPx$: Son los coeficientes de sensibilidad que muestran el grado de dependencia de cada una de las fuentes de incertidumbre identificadas, estos coeficientes se calculan utilizando la metodología de derivación parcial.

Determinación de la incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración

Para esta fuente se tiene en cuenta la escala del medidor, la incertidumbre estándar se calcula considerando una distribución de probabilidad uniforme para esta variable aleatoria:

Ecuación 13. Incertidumbre estándar. NTC-GTC-214.

$$\mu c(ex) = \sqrt{\mu(\delta Vix2)^2 * c(\delta Vix2)^2 + \mu(\delta Vix1)^2 * c(\delta Vix1)^2 + (\mu c(Vx))^2 * c(Vx)^2}$$

Dónde: $c(\delta Vix2)^2$, $c(\delta Vix1)^2$, $c(Vx)^2$ son los coeficientes de sensibilidad, los cuales muestran la dependencia del volumen indicado frente al volumen convencional y viceversa, se calcula utilizando la metodología de derivación parcial teniendo como modelo matemático la ecuación 1.

Incertidumbre estándar aportada por las n mediciones realizadas

El error relativo de la indicación del medidor de agua debido a la Repetibilidad se determina de acuerdo al siguiente modelo matemático:

Ecuación 14. Incertidumbre de las n mediciones. NTC-GTC-214.

$$e_{xav} = e_x + \delta e_x$$

Donde

e_{xav} = Repetibilidad del medidor

e_x = Error relativo de la medición de una sola prueba

δe_x = Corrección del error relativo de la indicación obtenida en las diferentes pruebas, debido a la Repetibilidad del medidor.

La incertidumbre debido a la variabilidad en los resultados de la medición e_{xav} se encuentra por medio de una evaluación tipo A; de acuerdo con la GUM, esta incertidumbre puede estimarse a partir de la desviación estándar de la media.

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres, se obtiene.

Ecuación 15. Incertidumbre combinada. NTC-GTC-214.

$$\mu c(e_{xav}) = \sqrt{\mu c^2 e_x * C e^2_x + \mu e^2_x * C^2 \delta e_x}$$

Donde $C e^2_x$; $C^2 \delta e_x$ son los coeficientes de sensibilidad los cuales se evalúan acorde a la metodología de derivación parcial aplicado a la ecuación 14, se obtienen valores de 1 en los coeficientes.

9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 11. Cronograma de Actividades.

Actividades	Semanas					
	1	2	3	4	5	6
Revisión bibliográfica.	■	■	■	■	■	■
Trámite para la realización de pruebas	■					
Evaluación de las propiedades de los equipos patrones de medición		■				
Selección del IBP		■				
Verificación de las condiciones externas del medidor de agua.			■			
Realización de la calibración del medidor, pruebas de precisión intermedia				■	■	
Análisis de resultados y preparación de informes				■	■	■

10. IMPACTOS

Relacionados con la generación y apropiación de conocimiento.

Tabla 12. Generación de nuevo conocimiento Relacionados con la generación y apropiación de conocimiento.

RESULTADO/PRODUCTO ESPERADO	INDICADOR	BENEFICIARIO
Determinación de los errores e incertidumbre de medida de un medidor de agua potable aplicando el método de calibración "recolección" conforme a la norma NTC-ISO 4064-2.	Sustentación del trabajo de grado	Comunidad académica
Estudiar el comportamiento de los medidores de agua potable fría de 15 mm con clase metrológica R.	Dar a conocer las diferentes observaciones durante el proceso de calibración	Comunidad académica
Conocer el método de recolección de fluidos aplicado a la calibración de medidores de agua. Proponer el estudio de esta área en los diferentes programas de la universidad de Cartagena, en especial al programa de metrología industrial.	Sustentación del trabajo de grado	Comunidad académica
Suministrar bases teóricas-experimentales para la construcción del saber hacer en asignaturas correspondientes a la calibración en programa de metrología.	Entrega de las evidencias teórica-experimentales al programa de Metrología	Comunidad académica

11. RESULTADOS DE LA CALIBRACION

Datos de prueba.

Los siguientes datos fueron los obtenidos durante todo el proceso de la calibración del medidor de agua potable, datos relativos a las variables influyentes en el proceso.

Tabla 13. Datos del proceso de calibración.

Prueba	Volumen patron (L)	T. Medidores (°C)	T. Patron (°C)	T. Ambiente (°C)	P. Entrada (Kpa)	P. salida (Kpa)	H. relativa (%)
Qp	50,547	25,42	28,64	22,75	1526,56	111,87	58,63
Qp	50,497	25,82	28,54	22,85	1539,14	210,91	59,02
Qp	50,447	25,92	28,64	22,95	1540,71	210,88	59,02
Qt	10,01	24,54	27,01	23,05	63,07	54,14	59,32
Qt	10,007	23,27	27,01	23,05	62,92	53,97	59,27
Qt	10,005	23,63	27,01	22,81	62,56	53,62	58,43
Qmin	4,987	23,24	26,51	22,01	63,25	54,87	56,64
Qmin	4,992	23,51	26,61	21,75	62,76	54,36	55,82
Qmin	4,992	23,23	26,61	21,7	62,08	53,75	57,13

Exactitud

En el proceso de calibración del medidor de agua potable fría con clase metrológica R160 con un diámetro nominal de 15 mm, con una etapa de servicio nuevo, se le fueron realizadas las pruebas de calibración dentro de todo el rango de medida del instrumento bajo prueba.

En la prueba de caudal permanente Q3 el valor de comparación y parámetro de calibración es la comparación del recipiente volumétrico de 50 litros versus al volumen registrado por el instrumento bajo prueba. Así mismo la prueba de Q2 caudal de transición el parámetro de calibración es la comparación del recipiente volumétrico de 10 litros y para la prueba de Q1 caudal mínimo el parámetro de comparación es de 5 litros, en las siguientes tablas están descritos todos los valores obtenidos del proceso de la calibración correspondiente al parámetro de la exactitud.

En la tabla 13 son expresados el término de exactitud determinado experimentalmente en la calibración, en las diferentes pruebas una medición es más exacta cuando más pequeño es el error de medida. Por ejemplo, el valor con el menor error de medición fue de -0,02 L con una exactitud aproximada del 99,97 %.

Tabla 14. Determinación de Error del IBP

Prueba	N°	Lecturas del IBP (L)		Volumen Registrado IBP (L)	Volumen Leído Patron (L)	Vol. Real (Vx)	Error (L)	% Error	Error (%)
		Inicial	Final						
Qp	1	793,32	843,85	50,53	50,547	50,58	-0,05	-0,0989	-0,3234
	2	843,85	894,17	50,32	50,497	50,53	-0,21	-0,4156	
	3	894,17	944,42	50,25	50,447	50,48	-0,23	-0,4556	
Qt	1	34,69	44,74	10,05	10,01	10,01	0,04	0,3996	0,59987
	2	44,74	54,81	10,07	10,007	10	0,07	0,7	
	3	54,81	64,88	10,07	10,005	10	0,07	0,7	
Qmin	1	65,48	70,49	5,01	4,987	4,99	0,02	0,4008	0,8684
	2	70,49	75,53	5,04	4,992	4,99	0,05	1,002	
	3	75,53	80,58	5,05	4,992	4,99	0,06	1,2024	

Efectuando la ecuación 2. El volumen real de cada prueba es expresado en las siguiente tablas:

Tabla 15. Volumen Real Prueba Qp/Q3

PRUEBA	Qp/Q3		
	1	2	3
Vol. Leído en el RVM	50,55	50,50	50,45
Vol. Real (Vx)	50,58	50,53	50,48
Temp. Del Agua a la entrada del primer medidor (Tx)	25,42	25,82	25,92
Temp. Del Agua en el R.V.M. (Ts)	28,64	28,54	28,64
Presión del agua a la entrada del primer medidor (Px)	1.526,56	1.539,14	1.540,71

Tabla 16. Volumen Real Prueba Qt/Q2

PRUEBA	Qt/Q2		
	1	2	3
Vol. Leído en el RVM	10,01	10,007	10,005
Vol. Real (Vx)	10,01	10,00	10,00
Temp. Del Agua a la entrada del primer medidor (Tx)	24,54	23,27	23,63
Temp. Del Agua en el R.V.M. (Ts)	27,01	27,01	27,01
Presión del agua a la entrada del primer medidor (Px)	63,07	62,92	62,56

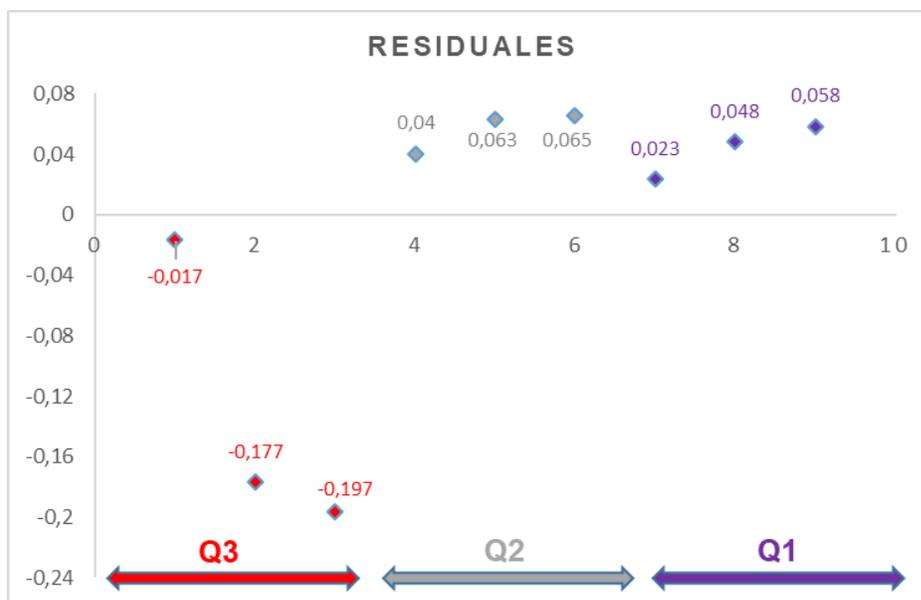
Tabla 17. Volumen Real Prueba Qmin/Q1

PRUEBA	Qmin/Q1		
	1	2	3
Vol. Leido en el RVM	4,987	4,992	4,992
Vol. Real (Vx)	4,99	4,99	4,99
Temp. Del Agua a la entrada del primer medidor (Tx)	23,24	23,51	23,23
Temp. Del Agua en el R.V.M. (Ts)	26,51	26,61	26,61
Presión del agua a la entrada del primer medidor (Px)	63,25	62,76	62,08

Precision de Medida (Repetibilidad de Medida)

La proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas durante la calibracion, medidor de agua potable R160 diametro nominal de 15 m, bajo condiciones especificadas indica la precision de medida. La precision de medida esta expresada numericamente mediante medidas de dispersion en este caso como la desviacion tipica.

Figura 17. Grafica de residuales



Es importante resaltar que la precision de medida es determinada en condiciones especificadas, estas pueden ser condiciones de repetibilidad, condiciones de precision intermedia, o condiciones de reproducibilidad.

Para nuestro caso particular la condicion especificada esta determinada por las condiciones de repetibilidad, que en su definicion una condicion de repetibilidad es una condicion de medicion, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operaci3n y el mismo lugar, asi como mediciones repetidas del mismo objeto en un periodo corto de tiempo.

En la tabla N° 18 esta descrita la precision de medida durante la calibracion de todo el alcance de medida del medidor de agua.

Tabla 18. Precisi3n de medida en las diferentes pruebas de calibraci3n realizadas al medidor de agua potable.

item	variable de prueba Caudal L/h	indicacion (L)	Diferencia (Error)	Cuadrado diferencia	Suma de cuadrados de las diferencias	Suma total de cuadrados de las diferencias/N	Precisi3n de medida
1	2475,968428	50,53	-0,017	0,000289	0,070427	0,023475667	0,15321771
2	2409,795869	50,32	-0,177	0,031329			
3	2425,545567	50,25	-0,197	0,038809			
4	25,845897	10,05	0,04	0,0016	0,009794	0,003264667	0,057137262
5	25,721835	10,07	0,063	0,003969			
6	25,421039	10,07	0,065	0,004225			
7	17,170925	5,01	0,023	0,000529	0,006197	0,002065667	0,045449606
8	16,565185	5,04	0,048	0,002304			
9	16,542837	5,05	0,058	0,003364			

Para el criterio de aceptaci3n en la norma NTC-ISO 4064:2016 establece que para la precision de medida (Repetibilidad) el valor de aceptaci3n debe ser menor del 1/3 del EMP, en la tabla N° 19 est3n indicados los grados de cumplimiento.

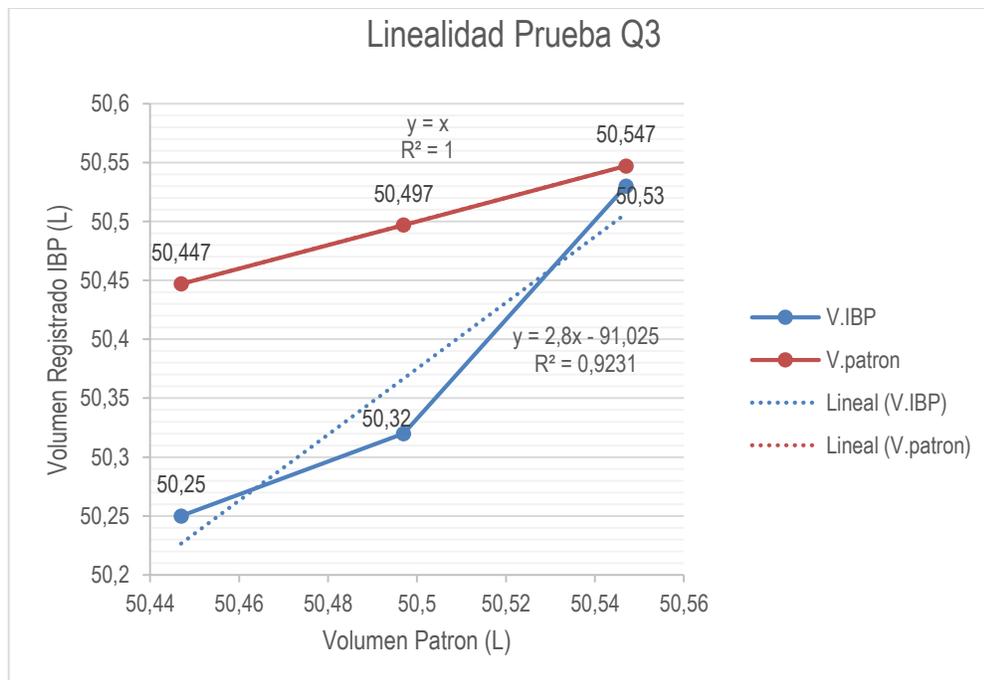
Tabla 19. Grados de cumplimiento Precisión (Repetibilidad de Medida).

Prueba	Precisión de medida	Valor Patrón (L)	Valor de aceptación < 1/3 EMP	Cumple
Qp	0,15321771	50,497	0,34	si
Qt	0,05713726	10,0074	0,07	si
Qmin	0,04544961	4,9903	0,083	si

Linealidad.

El comportamiento lineal del medidor de agua (IBP) es mostrado en las figuras 18, 19 y 20, dividido por pruebas.

Figura 18. Linealidad prueba Qp/Q3



El coeficiente de correlación nos indica la linealidad del sistema, entre este sea aproxime más a uno (1) quiere decir que el sistema presenta un comportamiento lineal aceptado.

Figura 19. Linealidad prueba Qt/Q2

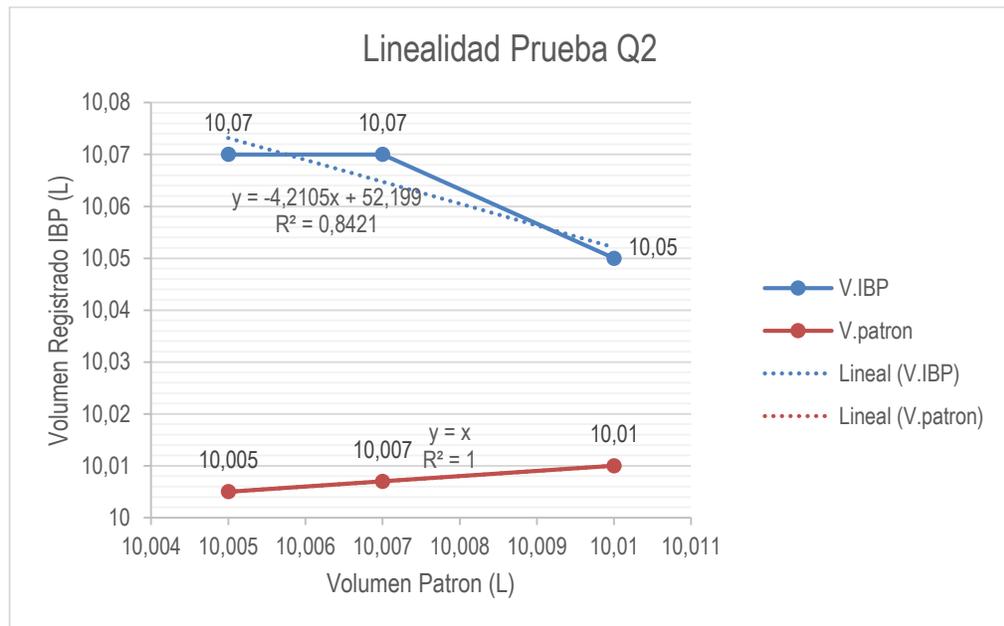
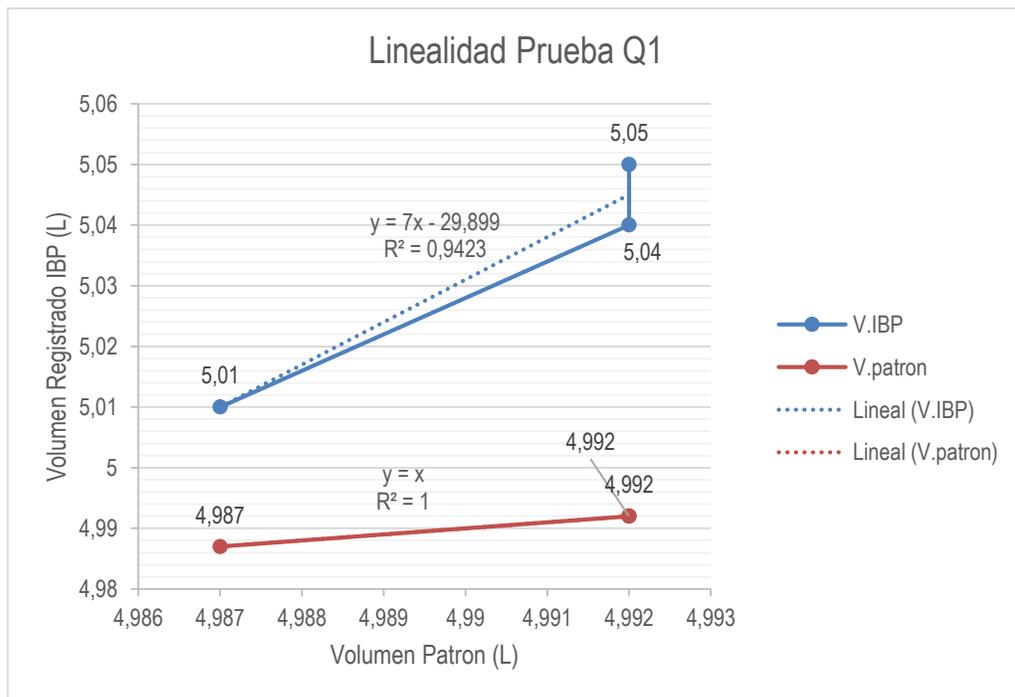


Figura 20. Linealidad prueba Qmin/Q1



Incertidumbre

Fuentes de incertidumbre en la calibración:

FUENTE DE INCERTIDUMBRE	Valor al trazo nominal RVM (L)	50,000	Valor al trazo nominal RVM (L)	10,000	Valor al trazo nominal RVM (L)	5,000
	Valor Division de escala del RVM	0,05015	Valor Division de escala del RVM	0,00513	Valor Division de escala del RVM	0,00513
Incertidumbre (μ) al trazo nominal del RVM (V_s)	0,010		0,002		0,002	
Error vigente RVM (E_2)	0,025		0,000		0,000	
Incertidumbre Deriva RVM	0,00721687836487032		0,000		0,000	
Incertidumbre (μ) Division de escala RVM (δV_s)	0,000		0,000		0,000	
Incertidumbre(μ) Termometro RVM ($t's$)	0,12		0,120		0,120	
Incertidumbre Deriva Termometro RVM	0,022		0,020		0,019	
Division de escala de termometro RVM (Rts)	0,100		0,100		0,100	
Variacion de temperatura en el RVM (Δts)	0,100		0,000		0,100	
Error vigente termometro en RVM (E_2)	0,002		-0,025		-0,032	
Incertidumbre (μ) Termometro aguas arriba ($t'x$)	0,044		0,044		0,044	
Incertidumbre Deriva Termometro Aguas arriba	0,170		0,140		0,132	
Division de escala de termometro aguas arriba (Rtx)	0,010		0,010		0,010	
Variacion de temperatura en el agua (Δtx)	0,500		1,270		0,280	
Error vigente termometro aguas arriba (E_2)	0,475		0,386		0,362	
Inceridumbre (μ) Manometro aguas arriba ($P'x$)	1,432		1,201		1,201	
Incertidumbre Deriva presion del agua	0,375		-0,760		-0,760	
Division de escala de Manometro aguas arriba (RPx)	0,010		0,010		0,010	
Variacion de presion del agua (ΔPx)	14,150		0,510		1,170	
Error vigente Manometro aguas arriba (E_2)	0,140		-1,702		-1,703	

Tabla 20. Variaciones de Temperatura y Presión durante la calibración.

Variaciones en la presion y temperatura del agua durante la calibracion			
Temp. Del agua MAX en la linea durante las pruebas (°C)	25,920	24,540	23,510
Temp. Del agua MIN en la linea durante las pruebas (°C)	25,420	23,270	23,230
Temp. Del Agua MAX en el R.V.M durante las pruebas (°C)	28,640	27,010	26,610
Temp. Del Agua MIN en el R.V.M durante las pruebas (°C)	28,540	27,010	26,510
Presión del agua MAX durante las pruebas (kPa)	1540,710	63,070	63,250
Presión del agua MIN durante las pruebas (kPa)	1526,560	62,560	62,080

Acorde a las tablas se han definido las siguientes fuentes de incertidumbre significativas

- Volumen convencional, V_x
- Volumen indicado por el medidor bajo calibración, V_i
- Repetibilidad de las n mediciones realizadas, e_m

INCERTIDUMBRE PRUEBA QP/Q3

Incertidumbre debido al volumen convencional, V_x

Tabla 21. Incertidumbre debido al volumen convencional, VX prueba Q3

Incertidumbre estandar volumen patron $\mu(CVis)$				
Fuente	μ_{xi}	Ci	$\mu_{xi}*Ci$	$(\mu_{xi}*Ci)^2$
Calibracion C_{rvm} $\mu(Vs)$	4,75E-03	1	4,75E-03	2,26E-05
Deriva RVM μDV	7,22E-03	1	7,22E-03	5,21E-05
SUMA (Σ)				7,46E-05
$\mu(CVis)$				8,64E-03

Incertidumbre por lectura del volumen patron, $\mu(\delta Vis)$	
Fuente	μ_{xi}
Division de escala RVM $\mu(\delta Vis)$	7,09E-04

Incertidumbre en la medicion de la temperatura del agua en el RVM utilizado como patron $\mu(C)$				
Fuente	μ_{xi}	Ci	$\mu_{xi}*Ci$	$(\mu_{xi}*Ci)^2$
calibracion $\mu(t's)$	6,00E-02	1	6,00E-02	3,60E-03
Division de escala $\mu(Rts)$	2,89E-02	1	2,89E-02	8,33E-04
Homogeneidad $\mu(\Delta ts)$	5,77E-02	1	5,77E-02	3,33E-03
Deriva $\mu(Dts)$	2,15E-02	1	2,15E-02	4,63E-04
SUMA (Σ)				8,23E-03
$\mu(Cts)$				9,07E-02

Incertidumbre aportada por el coeficiente cubico de expansion termica del material	
Fuente	μ_{xi}
Coeficiente $\mu(\alpha s)$	2,60E-05

Incertidumbre en la medicion de la temperatura del agua aguas arriba del primer medidor $\mu(Ctx)$				
Fuente	μ_{xi}	Ci	$\mu_{xi}*Ci$	$(\mu_{xi}*Ci)^2$
Calibracion $\mu(t'x)$	2,20E-02	1	2,20E-02	4,83E-04
Division de escala $\mu(Rtx)$	2,89E-03	1	2,89E-03	8,33E-06
Variacion $\mu(\Delta tx)$	2,89E-01	1	2,89E-01	8,33E-02
Deriva $\mu(Dtx)$	1,70E-01	1	1,70E-01	2,89E-02
SUMA (Σ)				1,13E-01
$\mu(Ctx)$				3,36E-01

Incertidumbre aportada por el coeficiente cubico de expansion termica del agua, $\mu(\alpha w)$	
Fuente	μ_{xi}
Coeficiente	8,66E-05

Incertidumbre en la medicion de la presion aguas arriba del primer medidor μ (CPx)			
Fuente	C_i	$\mu_{xi} * C_i$	$(\mu_{xi} * C_i)^2$
Calibracion μ (P'x)	1	7,16E-01	5,13E-01
Division de escala μ (RPx)	1	2,89E-03	8,33E-06
Variacion μ (ΔP_x)	1	8,17E+00	6,67E+01
Deriva μ (DPx)	1	3,75E-01	1,40E-01
SUMA (Σ)			6,74E+01
μ (Ctx)			8,21E+00

Incertidumbre aportada por el coeficiente de compresibilidad del agua, μ (kw)	
Fuente	μ_{xi}
coeficiente μ (kw)	2,66E-07

Incertidumbre estandar combinada en la determinacion del volumen convencional μ (CVx)			
Magnitud x_i	C_i	$\mu(x_i) * C_i$	$(\mu(x_i) * C_i)^2$
C_{vis} (L)	1,00E+00	8,64E-03	7,47E-05
δV_{vis} (L)	1,00E+00	7,09E-04	5,03E-07
C_{ts} ($^{\circ}C$)	-5,31E-03	-4,82E-04	2,32E-07
α_s (1/ $^{\circ}C$)	4,34E+02	1,13E-02	1,27E-04
C_{tx} ($^{\circ}C$)	7,58E-03	2,55E-03	6,48E-06
α_w (1/ $^{\circ}C$)	-1,46E+02	-1,26E-02	1,59E-04
CPx (Kpa)	-2,32E-05	-1,91E-04	3,64E-08
kw (1/Kpa)	-7,75E+04	-2,06E-02	4,24E-04
SUMA (Σ)			7,93E-04
μ (CVx)			2,82E-02

Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i

Tabla 22. Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i prueba Q3

Incertidumbre estandar aportada por el medidor bajo calibracion μ (Cex)			
Fuente	C_i	$\mu(x_i) * C_i$	$(\mu(x_i) * C_i)^2$
Correccion por escala V_{ix1}	1,98E-02	5,71E-05	3,26E-09
Correccion por escala V_{ix2}	-1,98E-02	-5,71E-05	3,26E-09
Incertidumbre Volumen μ (CVx)	1,97E-02	5,55E-04	3,08E-07
SUMA (Σ)			3,15E-07
μ (Cex)			5,61E-04

Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas

Tabla 23. Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas prueba Q3

Incertidumbre estandar aportada por las N mediciones realizadas μ (CExav)			
Fuente	C_i	$\mu(x_i) * C_i$	$(\mu(x_i) * C_i)^2$
Error promedio μ (ϵ_x)	1	1,15E-01	1,33E-02
Correccion por repetibilidad μ (Cex)	1	5,61E-04	3,15E-07
SUMA (Σ)			1,33E-02
Incertidumbre Volumen μ (CExav)			1,15E-01

INCERTIDUMBRE PRUEBA Qt/Q2

Incertidumbre debido al volumen convencional, V_x

Tabla 24. Incertidumbre debido al volumen convencional V_x prueba Q2

Incertidumbre estandar en la medicion del volumen en el RVM utilizado como patron $\mu(CVis)$				
Fuente	μ_{xi}	C_i	$\mu_{xi} * C_i$	$(\mu_{xi} * C_i)^2$
Calibracion $C_{rvm} \mu(Vs)$	8,75E-04	1	8,75E-04	7,66E-07
Deriva $RVM \mu DV$	0,00E+00	1	0,00E+00	0,00E+00
SUMA (Σ)				7,66E-07
$\mu(CVis)$				8,75E-04

Incertidumbre por lectura del volumen en el RVM utilizado como patron, $\mu(\delta V)$	
Fuente	μ_{xi}
Division de escala RVM $\mu(\delta Vis)$	2,00E-04

Incertidumbre en la medicion de la temperatura del agua en el RVM utilizado como patron $\mu(Cts)$				
Fuente	μ_{xi}	C_i	$\mu_{xi} * C_i$	$(\mu_{xi} * C_i)^2$
calibracion $\mu(t's)$	6,00E-02	1	6,00E-02	3,60E-03
Division de escala $\mu(Rts)$	2,89E-02	1	2,89E-02	8,33E-04
Homogeneidad $\mu(\Delta ts)$	0,00E+00	1	0,00E+00	0,00E+00
Deriva $\mu(Dts)$	1,96E-02	1	1,96E-02	3,86E-04
SUMA (Σ)				4,82E-03
$\mu(Cts)$				6,94E-02

Incertidumbre aportada por el coeficiente cubico de expansion termica del material del RVM, $\mu(\alpha)$	
Fuente	μ_{xi}
Coeficiente $\mu(\alpha s)$	2,60E-05

Incertidumbre en la medicion de la temperatura del agua aguas arriba del primer medidor $\mu(Ctx)$				
Fuente	μ_{xi}	C_i	$\mu_{xi} * C_i$	$(\mu_{xi} * C_i)^2$
Calibracion $\mu(t'x)$	2,19E-02	1	2,19E-02	4,82E-04
Division de escala $\mu(Rtx)$	2,89E-03	1	2,89E-03	8,33E-06
Variacion $\mu(\Delta tx)$	7,33E-01	1	7,33E-01	5,38E-01
Deriva $\mu(Dtx)$	1,40E-01	1	1,40E-01	1,96E-02
SUMA (Σ)				5,58E-01
$\mu(Ctx)$				7,47E-01

Incertidumbre aportada por el coeficiente cubico de expansion termica del agua, $\mu(\alpha)$	
Fuente	μ_{xi}
Coeficiente	8,66E-05

Incertidumbre en la medición de la presión aguas arriba del primer medidor μ (CPx)				
Fuente	μ_{xi}	Ci	$\mu_{xi} * Ci$	$(\mu_{xi} * Ci)^2$
Calibración μ (P'x)	6,01E-01	1	6,01E-01	3,61E-01
División de escala μ (RPx)	2,89E-03	1	2,89E-03	8,33E-06
Variación μ (ΔP_x)	2,94E-01	1	2,94E-01	8,67E-02
Deriva μ (DPx)	-7,60E-01	1	-7,60E-01	5,77E-01
SUMA (Σ)				1,02E+00
$\mu(Ctx)$				1,012206

Incertidumbre aportada por el coeficiente de compresibilidad del agua, $\mu(kw)$	
Fuente	μ_{xi}
coeficiente $\mu(kw)$	2,66E-07

Incertidumbre estándar combinada en la determinación del volumen convencional $\mu(CVx)$				
Magnitud xi	$\mu(xi)$	Ci	$\mu(xi) * Ci$	$(\mu(xi) * Ci)^2$
C_{vis} (L)	8,75E-04	1,00E+00	8,76E-04	7,67E-07
δV_{vis} (L)	2,00E-04	1,00E+00	2,00E-04	4,01E-08
C_{ts} ($^{\circ}C$)	6,94E-02	-1,05E-03	-7,31E-05	5,34E-09
α_s ($1/^{\circ}C$)	2,60E-05	7,02E+01	1,82E-03	3,32E-06
C_{tx} ($^{\circ}C$)	7,47E-01	1,50E-03	1,12E-03	1,26E-06
α_w ($1/^{\circ}C$)	8,66E-05	-3,20E+01	-2,77E-03	7,68E-06
CP_x (Kpa)	1,01E+00	-4,60E-06	-4,66E-06	2,17E-11
kw ($1/Kpa$)	2,66E-07	-6,29E+02	-1,67E-04	2,79E-08
SUMA (Σ)				1,31E-05
$\mu(CVx)$				3,62E-03

Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i

Tabla 25. Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i prueba Q2

Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración $\mu(Cex)$				
Fuente	$\mu(xi)$	Ci	$\mu(xi) * Ci$	$(\mu(xi) * Ci)^2$
Corrección por escala V_{ix1}	2,89E-03	9,99E-02	2,89E-04	8,32E-08
Corrección por escala V_{ix2}	2,89E-03	-9,99E-02	-2,89E-04	8,32E-08
Incertidumbre Volumen $\mu(CVx)$	3,62E-03	1,01E-01	3,64E-04	1,32E-07
SUMA (Σ)				2,99E-07
$\mu(Cex)$				5,47E-04

Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas

Tabla 26. Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas prueba Q2

Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas $\mu(CE_{xav})$				
Fuente	$\mu(xi)$	Ci	$\mu(xi) * Ci$	$(\mu(xi) * Ci)^2$
Error promedio $\mu(e_x)$	8,56E-02	1	8,56E-02	7,33E-03
Corrección por repetibilidad $\mu(Cex)$	5,47E-04	1	5,47E-04	2,99E-07
SUMA (Σ)				7,33E-03
Incertidumbre Volumen $\mu(CE_{xav})$				8,56E-02

INCERTIDUMBRE PRUEBA Qmin/Q1

Incertidumbre debido al volumen convencional, V_x

Tabla 27. Incertidumbre debido al volumen convencional, VX prueba Q1

Incertidumbre estandar en la medicion del volumen en el RVM utilizado como patron $\mu(CVis)$				
Fuente	μ_{xi}	Ci	$\mu_{xi}*Ci$	$(\mu_{xi}*Ci)^2$
Calibracion $C_{rvm} \mu(Vs)$	8,75E-04	1	8,75E-04	7,66E-07
Deriva $RVM \mu DV$	0,00E+00	1	0,00E+00	0,00E+00
SUMA (Σ)				7,66E-07
$\mu(CVis)$				8,75E-04

Incertidumbre por lectura del volumen en el RVM utilizado como patron, $\mu(\delta Vis)$	
Fuente	μ_{xi}
Division de escala $RVM \mu(\delta Vis)$	2,30E-04

Incertidumbre en la medicion de la temperatura del agua en el RVM utilizado como patron $\mu(Cts)$				
Fuente	μ_{xi}	Ci	$\mu_{xi}*Ci$	$(\mu_{xi}*Ci)^2$
calibracion $\mu(t's)$	6,00E-02	1	6,00E-02	3,60E-03
Division de escala $\mu(Rts)$	2,89E-02	1	2,89E-02	8,33E-04
Homogeneidad $\mu(\Delta ts)$	5,77E-02	1	5,77E-02	3,33E-03
Deriva $\mu(Dts)$	1,92E-02	1	1,92E-02	3,67E-04
SUMA (Σ)				8,13E-03
$\mu(Cts)$				9,02E-02

Incertidumbre aportada por el coeficiente cubico de expansion termica del material del RVM, $\mu(\alpha s)$	
Fuente	μ_{xi}
Coeficiente $\mu(\alpha s)$	2,60E-05

Incertidumbre aportada por el coeficiente cubico de expansion termica del agua, $\mu(\alpha w)$	
Fuente	μ_{xi}
Coeficiente	8,66E-05

Incertidumbre en la medicion de la presion aguas arriba del primer medidor $\mu(CPx)$				
Fuente	μ_{xi}	Ci	$\mu_{xi}*Ci$	$(\mu_{xi}*Ci)^2$
Calibracion $\mu(P'x)$	6,01E-01	1	6,01E-01	3,61E-01
Division de escala $\mu(RPx)$	2,89E-03	1	2,89E-03	8,33E-06
Variacion $\mu(\Delta Px)$	6,75E-01	1	6,75E-01	4,56E-01
Deriva $\mu(DPx)$	-7,60E-01	1	-7,60E-01	5,77E-01
SUMA (Σ)				1,39E+00
$\mu(Ctx)$				1,18E+00

Incertidumbre aportada por el coeficiente de compresibilidad del agua, $\mu(kw)$	
Fuente	μxi
coeficiente $\mu(kw)$	2,66E-07

Incertidumbre estandar combinada en la determinacion del volumen convencional $\mu(CVx)$				
Magnitud x_i	$\mu(x_i)$	C_i	$\mu(x_i)*C_i$	$(\mu(x_i)*C_i)^2$
C_{vis} (L)	8,75E-04	1,00E+00	8,76E-04	7,67E-07
δV_{vis} (L)	2,30E-04	1,00E+00	2,30E-04	5,29E-08
C_{ts} ($^{\circ}C$)	9,02E-02	-5,25E-04	-4,73E-05	2,24E-09
α_s ($1/^{\circ}C$)	2,60E-05	3,28E+01	8,53E-04	7,28E-07
C_{tx} ($^{\circ}C$)	2,10E-01	7,49E-04	1,57E-04	2,47E-08
α_w ($1/^{\circ}C$)	8,66E-05	-1,62E+01	-1,40E-03	1,97E-06
CP_x (Kpa)	1,18E+00	-2,30E-06	-2,71E-06	7,34E-12
kw ($1/Kpa$)	2,66E-07	-3,13E+02	-8,31E-05	6,90E-09
SUMA (Σ)				3,56E-06
$\mu(CVx)$				1,89E-03

Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i

Tabla 28. Incertidumbre estándar aportada por el medidor bajo calibración, V_i prueba Q1

Incertidumbre estandar aportada por el medidor bajo calibracion $\mu(Cex)$				
Fuente	$\mu(x_i)$	C_i	$\mu(x_i)*C_i$	$(\mu(x_i)*C_i)^2$
Correccion por escala V_{ix1}	2,89E-03	2,00E-01	5,79E-04	3,35E-07
Correccion por escala V_{ix2}	2,89E-03	-2,00E-01	-5,79E-04	3,35E-07
Incertidumbre Volumen $\mu(CVx)$	1,89E-03	2,02E-01	3,81E-04	1,45E-07
SUMA (Σ)				8,15E-07
$\mu(Cex)$				9,03E-04

Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas

Tabla 29. Incertidumbre estándar aportada por las N mediciones realizadas.

Incertidumbre estandar aportada por las N mediciones realizadas $\mu(CExav)$				
Fuente	$\mu(x_i)$	C_i	$\mu(x_i)*C_i$	$(\mu(x_i)*C_i)^2$
Error promedio $\mu(ex)$	2,08E-01	1	2,08E-01	4,35E-02
Correccion por repetibilidad $\mu(Cex)$	9,03E-04	1	9,03E-04	8,15E-07
SUMA (Σ)				4,35E-02
Incertidumbre Volumen $\mu(CExav)$				2,08E-01

Resultado final de la calibración del medidor de agua

Los datos arrojados en el proceso de calibración del medidor de agua potable clase metrológica rango dinámico R160 y un diámetro nominal de 15 mm, fueron los expresados en siguiente tabla:

Tipo de prueba	Caudal de prueba	Volumen registrado IBP (L)	Volumen Patrón (L)	Error (%)	Incertidumbre U (%)	Factor de Cobertura	± EMP
Q3/Qp	2437,1	50,367	50,530	-0,32	0,23	2	2
Q2/Qt	25,66	10,063	10,010	0,57	0,17	2	2
Q1/Qmin	16,76	5,033	4,990	0,88	0,42	2	5

12. CONCLUSIONES

En la calibración de un medidor de agua potable con especificaciones técnicas de 15 mm de diámetro, presión máxima admisible 16 bar (1600 KPa) temperatura de trabajo de 0°C a 50 °C (T50) cuyas características metrológicas se basan en su norma de fabricación NTC-ISO /IEC 4064:2016, clase metrológica R160 caudal nominal 2,5 m³/h (2500 L/h) división de escala 0,02 L.

Los resultados de la calibración del medidor de agua potable, a través del método de “Recolección” arrojan datos finales correspondientes a la conformidad del medidor de agua de acuerdo a los criterio establecidos por la norma de fabricación de medidores de agua (NTC-ISO /IEC 4064:2016) donde establece los errores máximos permisible (EMP) dentro de los diferentes caudales de prueba (Q3, Q2, Q1).

Para que un medidor de agua se declare en estado de conformidad los errores de acuerdo a un patrón lo errores de indicación no deben superar los EMP descritos en la norma (NTC-ISO /IEC 4064:2016) y para que esto suceda el medidor de agua debe cumplir con criterios de aceptación, que si bien a la final solo se tiene en cuenta el error, estos criterios son determinantes para la declaración de la conformidad.

La definición de **Parámetro Metrológico** está establecida como un elemento indicativo e imprescindible que permite lograr o valorar una situación particular, en este caso los parámetros metrológicos como **Exactitud, Precisión, Linealidad, Incertidumbre** aportan información e indican el grado de conformidad del medidor de agua a través del proceso de calibración, nuestra situación particular.

Si bien estos son los parámetros metrológicos que determinan el estado de conformidad del instrumento bajo prueba, existen otros más como la sensibilidad relacionada con el caudal de arranque, la deriva, la reproducibilidad de medida del medidor de agua, entre otros.

Un parámetro metrológico en el proceso de calibración del medidor de agua que es complementario a la incertidumbre es la precisión del IBP, tal es el caso que dentro de las tres (3) fuentes de incertidumbre significativas esta la Repetibilidad de las N mediciones realizadas, de este modo una variación o un valor elevado de Repetibilidad afecta directamente la incertidumbre de medida por ende la calidad y confianza del resultado.

El parámetro de la linealidad es quizás el parámetro más independiente de todos y es en sí una indicación de cuan están relacionados los parámetros de la Exactitud y la linealidad. El comportamiento más lineal se obtuvo en la prueba de caudal mínimo, a pesar de que en este se obtuvieron los mayores errores e incertidumbres, este comportamiento es propio del medidor de agua desde el momento de su fabricación tal como se ve reflejado en la figura 21. "Características Medidor bajo prueba (IBP)" Curva de Error.

13. BIBLIOGRAFÍA

[1] NTC-ISO 4064-2:2016. MEDIDORES DE AGUA POTABLE FRÍA Y AGUA CALIENTE. PARTE 2: EDICIÓN 1°. NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. ICONTEC. 2016

[2] JCGM 200:2012. VOCABULARIO INTERNACIONAL DE METROLOGÍA: CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y GENERALES, Y TÉRMINOS ASOCIADOS. EDICIÓN 3° EN ESPAÑOL. CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA CEM. JCGM COMITÉ CONJUNTO DE GUÍAS EN METROLOGÍA. 2012

[3] M. ESPINOZA PONCE. METROLOGY. EDICIÓN 1°. ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY HONOLULU, HAWAII. 2012. ISBN UB198020SPE27752

[4] D'HAINAUT, L. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES EN LAS MEDIDAS. EDICIÓN 1°. MÉXICO. EDITORIAL TRILLAS, S.A.1978

[5] METAS (METROLOGOS ASOCIADOS) LINEALIDAD: CURVAS DE AJUSTE, INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN, EDICIÓN 1°. JALISCO, MÉXICO: 2010.

[6] AGUAS DE CARTAGENA. PROCEDIMIENTO DE REQUISITOS METROLÓGICOS MEDIDORES DE AGUA POTABLE FRÍA Y CALIENTE. EDICIÓN 3°. CARTAGENA, COLOMBIA. LABORATORIO DE MEDIDORES. 2013.

[7] GTC 214:2015, "GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE AGUA". EDICIÓN 2°. 2015.

[8] CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA MEXICANO (CENAM). GUÍA TÉCNICA SOBRE TRAZABILIDAD E INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE FLUJO DE LÍQUIDOS EMPLEANDO COMO REFERENCIA UN PATRÓN VOLUMETRICO. EDICIÓN 1°. MEXICO. 2011.