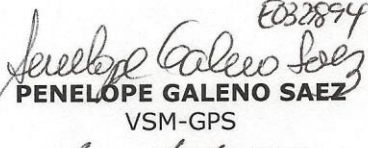



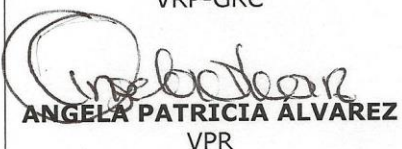

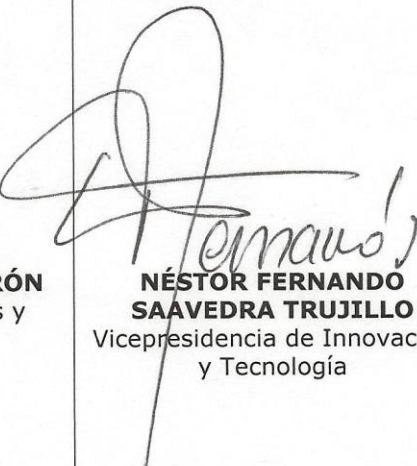
	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

RELACIÓN DE VERSIONES

VERSIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA
1	Emisión del documento	19/07/2013

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
<p style="text-align: right; margin-right: 50px;"><i>EO32894</i></p> <p> PENELOPE GALENO SAEZ VSM-GPS</p> <p> DARÍO BUITRAGO PATIÑO VST-GOC</p> <p> ELKIN MAURICIO CLARO MARTÍNEZ VRP-GRB</p> <p> DIEGO ALEJANDRO SILVA RINCÓN VRP-GRC</p> <p> ÁNGELA PATRICIA ÁLVAREZ VPR</p> <p style="text-align: center;">Grupo Extendido Especialidad Medición, Balances y Contabilización</p>	<p> REYNALDO PRADA GRATERÓN Líder Corporativo de Normas y Estándares</p>	<p> NÉSTOR FERNANDO SAAVEDRA TRUJILLO Vicepresidencia de Innovación y Tecnología</p>

Este documento es propiedad de ECOPETROL S.A. no debe ser copiado, reproducido y/o circulado sin su autorización

This document is property of ECOPETROL S.A. it shall not be copied, reproduced and/or circulated without authorization




	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. OBJETO	4
2. ALCANCE.....	4
3. GLOSARIO	4
3.1.DEFINICIONES	4
3.2.USOS.....	5
3.3.ABREVIATURAS	5
4. DOCUMENTOS DEROGADOS.....	5
5. REFERENCIAS NORMATIVAS	5
5.1.NORMATIVA INTERNA	5
5.2.NORMATIVA EXTERNA	6
6. CONDICIONES GENERALES.....	7
6.1.JERARQUÍAS EN LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS	7
6.1.1. Nivel 1 – Patrones Estándares Primarios	8
6.1.2. Nivel 2 – Patrones Estándares Secundarios	8
6.1.3. Nivel 3 – Patrones Estándares de Campo	8
6.1.4. Nivel 4 – Probadores de Medidores.....	9
6.1.5. Nivel 5 – Sistemas de Medición.....	9
6.1.6. Nivel 6 – Correcciones por Cantidad y Calidad	9
6.1.7. Nivel 7 – Tiquetes de Medición	9
6.1.8. Límites de Incertidumbre de las Jerarquías	9
6.2.GENERALIDADES	10
6.3.POR QUÉ CALIBRAR	11
6.3.1. Por qué Calibrar un Probador	11
6.3.2. Por qué Calibrar un Medidor	11
6.4.EXACTITUD Y REPETIBILIDAD	11
7. DESARROLLO	13
7.1.RECOMENDACIONES GENERALES	14
7.2.PROBADORES DE TUBERÍA DE DESPLAZAMIENTO MECÁNICO	16
7.2.1. Cámaras de Lanzamiento.....	17
7.2.2. Sección de Carrera Previa.....	17

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

7.2.3. Sección de Volumen Calibrado	18
7.2.4. Interruptores Detectores.....	19
7.2.5. Desplazadores.....	20
7.2.5.1. Desplazadores de Esfera	20
7.2.5.2. Desplazadores de Pistón	22
7.2.6. Válvulas	22
7.2.7. Principio de Funcionamiento	23
7.2.8. Probadores Unidireccionales de Esfera	25
7.2.9. Probadores Bidireccionales de Esfera	26
7.2.10. Probadores Bidireccionales de Pistón	27
7.2.11. Probadores Compactos (Unidireccionales de Pistón)	28
7.2.11.1. Probador Compacto Brooks-Daniel-Emerson	30
7.2.11.2. Probador Compacto Calibron-Honeywell.....	32
7.2.11.3. Interpolación de Pulsos por Doble Cronometría	33
7.3. PROBADORES TIPO TANQUE	35
7.4. PROBADORES TIPO MEDIDOR MAESTRO	38
7.5. DISEÑO DE PROBADORES	41
8. CONTINGENCIAS.....	41
9. REGISTROS.....	41
10. BIBLIOGRAFÍA	41
11. ANEXOS	41

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

1. OBJETO

Los probadores son patrones volumétricos certificados (estándares volumétricos) usados para la calibración de medidores de flujo líquido, capaces de generar una señal de salida de pulsos en función del caudal volumétrico. La forma del recipiente en el cual está contenido el volumen certificado determina el tipo de Probador Volumétrico.

2. ALCANCE

Este capítulo hace referencia a los diferentes tipos de Probadores Volumétricos utilizados en la calibración de medidores de flujo líquido, usados en los Sistemas de Medición Dinámica para la Transferencia de Custodia de Hidrocarburos Líquidos y Biocombustibles para el aseguramiento Metrológico.

Aplica a las áreas operativas y técnicas que tengan Sistemas de Medición Dinámica para Transferencia de Custodia y Fiscalización de Hidrocarburos Líquidos y Biocombustibles en Plantas o Facilidades bajo la responsabilidad de ECOPETROL S.A., según lineamientos del documento ECP-VSM-R-001 Reglamento para la Gestión de la Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles.


3. GLOSARIO

Para una mayor comprensión de este documento puede consultar el ECP-VSM-M-001 Capítulo 1 - Condiciones Generales y Vocabulario, del Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles (MMH).

3.1. DEFINICIONES

En el contexto de este capítulo se aplican las siguientes definiciones, las cuales pueden diferir de las expuestas en el glosario del capítulo 1 del Manual de Medición de Hidrocarburos de ECOPETROL:

- **Calibración de Medidores:** Es el procedimiento usado para determinar el Factor del Medidor.
- **Calibración de Probadores:** Es el procedimiento usado para determinar el volumen de un probador.
- **Contador de Pulsos:** Dispositivo que cuenta y acumula los pulsos generados por el medidor durante la prueba del medidor. Contiene un mecanismo (compuerta) que activa el conteo con la activación del primer interruptor detector y finaliza con la activación del segundo interruptor detector. Tiene también un mecanismo que permite borrar el acumulado del conteo de pulsos.
- **Corrida de Prueba:** En un probador unidireccional es equivalente a una pasada de prueba. En un probador bidireccional es equivalente una pasada completa.
- **Pasada Completa:** Llamada también Pasada de ida y Vuelta. Es la pasada del desplazador primero en un sentido de flujo y luego en el sentido inverso. Aplica solo para probadores bidireccionales.
- **Probador de Medidores (Meter Prover):** Vasija o recipiente abierto o cerrado de volumen conocido que es usado como una referencia volumétrica estándar para la calibración de medidores.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

- **Pasada de Prueba:** Es el movimiento del desplazador entre los detectores que delimitan la sección calibrada del probador.
- **Prueba del Medidor (Meter Proof):** Los pases múltiples o vueltas completas de un desplazador dentro de un probador con el propósito de determinar el Factor del medidor (Meter factor).

3.2. USOS

En el contexto de este estándar, el uso de las siguientes palabras es:

- **Debe, deben:** Forma verbal usada para indicar requerimientos a seguir estrictamente con el fin cumplir con el estándar y de los cuales no se permite desviación alguna, a no ser que sean aceptadas por todas las partes involucradas.
- **Deberá, deberán:** Forma verbal usada para indicar que dentro de una gama de posibilidades una es la recomendada, sin mencionar o excluir las otras, o para indicar que cierta acción es preferida pero no necesariamente requerida.
- **Podrá, podrán:** Forma verbal usada para indicar requerimientos que son condicionales, o soluciones alternativas permisibles dentro de los límites del estándar.
- **Puede, pueden:** Forma verbal usada para indicar la acción o capacidad de poder hacer.

3.3. ABREVIATURAS

A continuación se relacionan las siguientes abreviaturas:

- **BIPM:** Bureau International des Poids et Mesures.
- **MF:** Meter Factor o Factor del Medidor.
- **NIST:** National Institute of Standards and Testing.


4. DOCUMENTOS DEROGADOS

- ECP-VSM-M-001-04 Manual de Medición De Hidrocarburos Capitulo 4 Sistemas Probadores

5. REFERENCIAS NORMATIVAS

5.1. NORMATIVA INTERNA

En la elaboración de este documento se referencian los siguientes documentos de ECOPETROL S.A.:


	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013

CÓDIGO CNE	CODIGO ANTIGUO	TÍTULO
NO APLICA	ECP-VSM-R-001	Gestión de la Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles.
ECP-VIN-P-MBC-MT-001	ECP-VSM-M-001	Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles. Capítulo 1 — Condiciones Generales y Vocabulario.
ECP-VIN-P-MBC-MT-021	ECP-VSM-M-001-21	Manual de Medición de Hidrocarburos Y Biocombustibles capítulo 21 - Sistemas de Medición Electrónica de Líquidos.
ECP-VIN-P-MBC-MT-005	ECP-VSM-M-001	Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles Capítulo 5 — Medición Dinámica.
ECP-VIN-P-MBC-MT-012	ECP-VSM-M-001-12	Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles Capítulo 12 — Cálculo de Cantidades de Petróleo.
ECP-VIN-P-MBC-PT-022	ECP-VSM-P-022	Procedimiento para Calibración de Medidores en Volumen con Probador Volumétrico (Compacto O Convencional).
ECP-VIN-P-MBC-PT-041	ECP-VSM-P-041	Procedimiento Para Cambio Y Oficialización Del Factor Del Medidor De Flujo.
ECP-VIN-P-MBC-PT-048	ECP-VSM-P-048	Procedimiento para calibración de medidores coriolis en masa con probador volumétrico.
ECP-VIN-P-MBC-PT-050	ECP-VSM-P-050	Procedimiento para Calibración de Probador Unidireccional de Pequeño Volumen de Pistón por el Método del drenado de agua Volumétrico.
ECP-VIN-P-MBC-PT-051	ECP-VSM-P-051	Procedimiento para Calibración de Probador Bidireccional por el Método del Drenado de Agua Volumétrico.
ECP-VIN-P-MBC-PT-058	ECP-VSM-P-058	Procedimiento para la Calibración de Medidores de Flujo Coriolis por el Método Gravimétrico.
ECP-VIN-P-MBC-PT-059	ECP-VSM-P-059	Procedimiento para la Calibración de Probador Volumétrico Método del Medidor Maestro.

5.2. NORMATIVA EXTERNA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API)

MPMS 4.1	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 - Proving Systems Section 1 – Introduction.
MPMS 4.2	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 - Proving Systems Section 2 - Displacement Provers.


	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

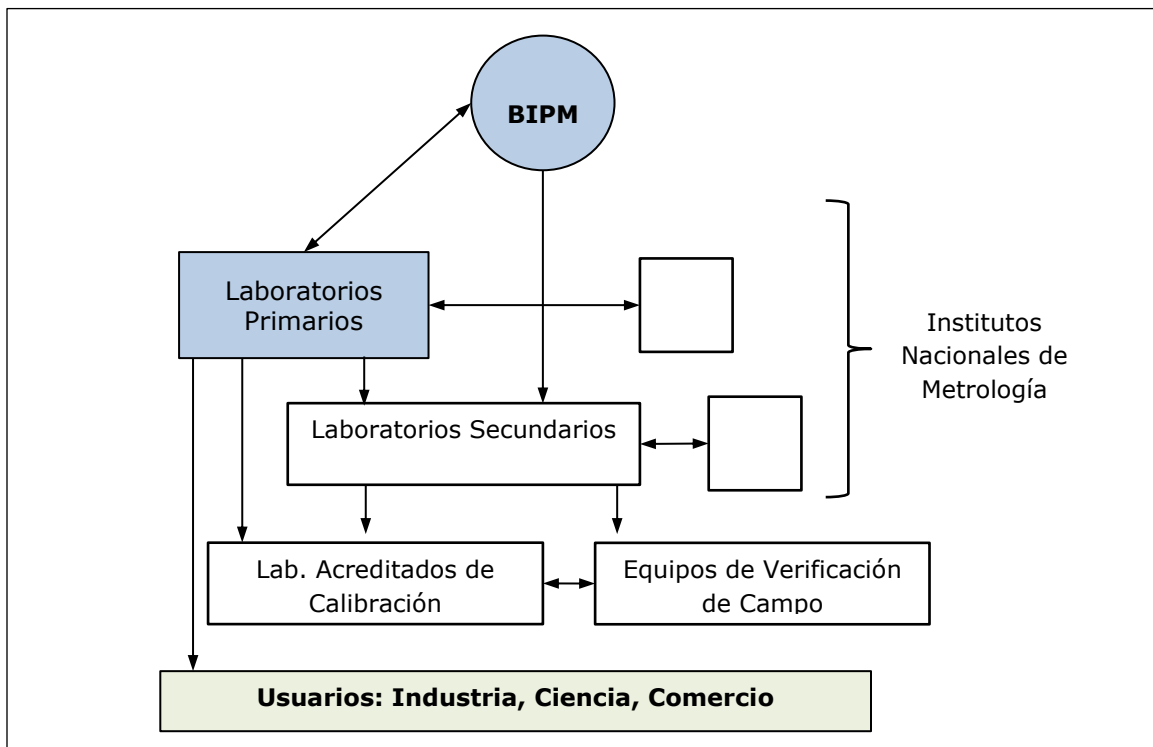
MPMS 4.3	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 - Proving Systems Section 3 - Small Volume Provers.
MPMS 4.4	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 - Proving Systems Section 4 - Tank Provers.
MPMS 4.5	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4.5 Master Meter Provers.
MPMS 4.6	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 - Proving Systems Section 6 - Pulse Interpolation.
MPMS 4.7	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 - Proving Systems Section 7 - Field - Standard Test Measures.
MPMS 4.8	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4.8 Operation of Proving Systems.
MPMS 4.9.2	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 - Proving Systems Section 9 - Methods of Calibration for Displacement and Volumetric Tank Provers Part 2 - Determination of the Volume of Displacement and Tank Provers by the Waterdraw Method of Calibration.

6. CONDICIONES GENERALES

6.1. JERARQUÍAS EN LA MEDICIÓN DE LÍQUIDOS

Cada estándar asociado a un nivel de jerarquía debe tener un certificado de calibración donde conste cual es la estimación de los errores y de la incertidumbre expandida. La Figura 1 muestra el diagrama de niveles de jerarquías de patrones de medición:

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1



Fuente: Trazabilidad e Incertidumbre en las Mediciones de Flujo de Hidrocarburos – Roberto Arias Romero.

Figura 1. Niveles de Jerarquías de Medición.

La jerarquía para la medición de líquidos está compuesta de los siguientes niveles:

6.1.1. Nivel 1 – Patrones Estándares Primarios


Son los patrones estándares de referencia, desarrollados y/o mantenidos por institutos primarios internacionales de metrología (BIPM, NIST). Se usan exclusivamente para calibrar los patrones secundarios.

6.1.2. Nivel 2 – Patrones Estándares Secundarios

Los patrones secundarios son los usados por los institutos nacionales de metrología (SIC, NIST, CENAM) o laboratorios acreditados para calibrar los estándares de campo.

6.1.3. Nivel 3 – Patrones Estándares de Campo

Los patrones estándares de campo son los recipientes volumétricos de prueba que se usan como los estándares de trabajo para calibrar los probadores volumétricos de medidores.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

6.1.4. Nivel 4 – Probadores de Medidores

Los probadores de medidores son los patrones usados para calibrar los medidores de flujo y poder determinar el Factor del Medidor (MF).

6.1.5. Nivel 5 – Sistemas de Medición

Son las válvulas, filtros, medidores, transmisores de densidad, presión y temperatura, etc., que conforman uno o varios brazos de flujo dentro de un Sistema de Medición, hasta determinar el Volumen Indicado.

6.1.6. Nivel 6 – Correcciones por Cantidad y Calidad

Son los algoritmos/tablas y procesos de cálculo, manuales o automáticos, apropiados para determinar los factores de corrección de cantidad y calidad al Volumen Indicado para determinar el Volumen Neto Estándar siendo medido durante la transferencia de Custodia.

6.1.7. Nivel 7 – Tiquetes de Medición

También llamados Tiquetes de Bache o de Transferencia. Son los documentos que respaldan una transacción volumétrica entre las partes y donde se registran los valores de las variables, las cantidades medidas, los MF, los factores de corrección, etc., con sus correspondientes resoluciones y aproximaciones.

6.1.8. Límites de Incertidumbre de las Jerarquías


En cada nivel de jerarquía se tiene en cuenta la totalidad de errores asociados a esa jerarquía, así como la incertidumbre de los niveles anteriores. Por tanto, la incertidumbre siempre aumenta con cada nivel de jerarquía adicional.

Dentro de cada nivel de jerarquía hay actividades que pueden ser fuente de error y que deben identificarse y limitarse para no deteriorar la integridad de la jerarquía. Estas actividades incluyen los procedimientos de calibración de los Patrones Estándares Secundarios, Patrones Estándares de Campo y corridas de prueba de medidores.

La tabla 1 muestra los límites permitidos de incertidumbre para cada nivel de jerarquía en la medición de líquidos.

Tabla 1. Límites de Incertidumbre para la Medición de Líquidos.

INCERTIDUMBRE HIPOTÉTICA			
NIVEL	NIVEL DE JERARQUÍA	LÍMITE DE INCERTIDUMBRE	
		POR EVENTO (± %)	POR AÑO (± %)
1	Estándares Primarios	0,002	0,002
2	Estándares Secundarios	0,005	0,005
3	Estándares de Campo	0,015	0,015

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

INCERTIDUMBRE HIPOTÉTICA			
NIVEL	NIVEL DE JERARQUÍA	LÍMITE DE INCERTIDUMBRE	
		POR EVENTO (± %)	POR AÑO (± %)
4	Volumen Base del Probador	0,03	0,03
5	Volumen Indicado del Medidor	0,10	0,05
6	Correcciones por Calidad y Cantidad	0,15	0,07
7	Tiquete de transferencia de Custodia	0,20	0,10

Fuente: API MPMS 4.1 – Tabla 3.

Procedimientos exactos y rigurosos deben ser desarrollados y seguidos detalladamente a través de cada nivel de jerarquía para que la incertidumbre final no supere el valor especificado para la aplicación en la cual se va a utilizar (nivel de jerarquía de uso), afectando la cantidad final medida en la Transferencia de Custodia.

Los niveles de jerarquías de medición son fundamentales para encadenar adecuadamente una trazabilidad que permita calcular objetivamente la incertidumbre de la medición y/o calibración realizada.


La trazabilidad es una propiedad o atributo del resultado que entrega un instrumento o sistema de medición. De éste hecho, se derivan tres conceptos básicos:

- 1) La trazabilidad no es un atributo del instrumento sino de la respuesta que se obtiene al emplearse éste.
- 2) Cada etapa en la cadena de trazabilidad (cadena que conecta los patrones primarios con el instrumento en cuestión) debe incluir en su certificado de calibración una declaración de la incertidumbre del proceso de calibración.
- 3) La trazabilidad hace referencia al hecho hipotético de que un resultado de medición realizado por un instrumento trazable es comparable al resultado que se obtendría si el patrón primario se empleara para realizar la misma medición.

6.2. GENERALIDADES

Los medidores deben ser probados preferiblemente con el mismo líquido que están midiendo y a las mismas condiciones de rata de flujo, presión y temperatura. Los medidores que midan diferentes productos deben ser probados con cada uno de ellos. En caso de no poder calibrar con el mismo fluido con que se mide, se deberá utilizar un fluido de características fisicoquímicas lo más similares posible al producto a medir.

La prueba de medidores debe hacerse con alto grado de precisión. Las particularidades del medidor, sus equipos auxiliares y el tipo de probador volumétrico pueden afectar la incertidumbre de la medición.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Por tanto se debe realizar inspecciones rutinarias a todos los componentes del sistema para garantizar la reproducibilidad de los resultados de las pruebas.

6.3. POR QUÉ CALIBRAR

6.3.1. Por qué Calibrar un Probador

Un probador debe ser calibrado:

- a) Inicialmente en fábrica después de haber sido construido.
- b) Normalmente después de haber sido instalado en la planta o facilidad donde va a operar.
- c) Regularmente de acuerdo con los periodos contenidos en la Tabla 1 del Capítulo 1 del MMH "Rutinas de Verificación/Mantenimiento y Calibración".
- d) Requerimientos contractuales o de ley.
- e) Cuando se sospeche que el volumen de la sección calibrada ha cambiado, por:
 - 1) Modificaciones o reparaciones.
 - 2) Desgaste por frecuencia de uso.
 - 3) Golpes o deformaciones que alteren la geometría de la sección calibrada.
 - 4) Ajuste, mantenimiento o remplazo de los detectores.
 - 5) Pérdida o daño del revestimiento interno de las paredes.
 - 6) Corrosión interna.
 - 7) Sobre presiones que afecten la estructura del probador.
 - 8) Cambio de sellos del desplazador o válvula Poppet en probadores compactos.
 - 9) Depósitos y adherencias en las paredes internas.


6.3.2. Por qué Calibrar un Medidor

Un medidor debe ser calibrado cuando:

- a) El calibrador manual del Medidor ha sido ajustado.
- b) El Medidor ha sido abierto para inspección o reparación.
- c) Alguna de las partes internas o de los accesorios del Medidor han sido cambiadas, reparadas o retiradas.
- d) Las condiciones operacionales o el Producto del Medidor han cambiado.
- e) Por requerimientos contractuales o gubernamentales.
- f) Para verificar el comportamiento y exactitud del Medidor.

6.4. EXACTITUD Y REPETIBILIDAD

La exactitud del Factor del Medidor (Meter Factor) está limitada por las siguientes consideraciones:

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

- a) Incertidumbre del Probador volumétrico.
- b) Incertidumbres asociadas al procedimiento de realizar las pruebas del medidor.
- c) Desempeño y exactitudes de los equipos involucrados en la prueba.
- d) Errores espurios.
- e) Errores sistemáticos en los procesos de cálculo, algoritmos de compensación volumétrica para la determinación de las medidas a condiciones estándar.

La repetibilidad del MF del medidor debe analizarse detenidamente. Una buena repetibilidad **NO** necesariamente indica una buena exactitud, ya que pueden introducirse errores sistemáticos, como son: válvulas con pase, falla del medidor de flujo, desajuste en la calibración del probador, errores en la determinación de la densidad, temperatura y presión, etc.


El volumen base de un probador debe determinarse con tres (3) o más corridas de calibración consecutivas con una repetibilidad dentro de un rango de 0.02% (ver API MPMS 4.2 Sec. 2.2).

Normalmente, el MF de un medidor se determina con cinco (5) corridas de prueba consecutivas con una repetibilidad dentro de un rango de 0.05% (ver API MPMS 4.8 Sec. 4.8.3.6).

También se puede hacer un número de corridas diferentes cambiando el rango de repetibilidad para mantener el mismo nivel de incertidumbre (ver Tabla 2).

Tabla 2. Número de Corridas Versus Repetibilidad.

CALIBRACIÓN DE MEDIDORES CON INCERTIDUMBRE DE $\pm 0.027\%$	
NO. CORRIDAS DE CALIBRACIÓN	RANGO DE REPETIBILIDAD
3	0.0002
4	0.0003
5	0.0005
6	0.0006
7	0.0008
8	0.0009
9	0.0010
10	0.0012
11	0.0013
12	0.0014
13	0.0015
14	0.0016

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

CALIBRACIÓN DE MEDIDORES CON INCERTIDUMBRE DE ±0.027%	
NO. CORRIDAS DE CALIBRACIÓN	RANGO DE REPETIBILIDAD
15	0.0017
16	0.0018
17	0.0019
18	0.0020
19	0.0021
20	0.0022

Fuente: API MPMS 4.8, Tabla A-1

7. DESARROLLO

El propósito de Probar o Calibrar un Medidor es el de poder determinar el Factor de Calibración del Medidor (Meter Factor o MF). El MF se utiliza para corregir las inexactitudes del Medidor sin tener que realizar ajustes mecánicos o electrónicos a este.

El Factor del Medidor (MF) se aplica al volumen indicado para calcular el volumen bruto. Al volumen bruto se le aplican las correcciones por efectos de la presión y temperatura sobre el líquido para determinar el volumen estándar. Los resultados de Factor del Medidor (MF) son usados también para evaluar la condición, el comportamiento y el desempeño de un determinado medidor y/o probador.

El Factor del medidor se obtiene de dividir el volumen certificado del probador por el volumen indicado del medidor, ambos corregidos a condiciones estándar. Es decir se compara el volumen del probador con el del medidor:

- Si el MF = 1,0000 → El medidor registra el volumen correcto.
- Si el MF > 1,0000 → El medidor registra un volumen menor al que debe registrar.
- Si el MF < 1,0000 → El medidor registra un volumen mayor al que debe registrar.

$$MF = \frac{V_{SP}}{V_{SM}} = \frac{V_{BP} \times CTS_p \times CPS_p \times CTL_p \times CPL_p}{\frac{AcumuladoPulsos}{KF} \times CTL_M \times CPL_M} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

- VSP = Volumen del Probador a condiciones estándar.
- VSM = Volumen del Medidor a condiciones estándar.
- VBP = Volumen Base del Probador.
- KF = Pulsos por unidad de volumen generados por el medidor.
- CTS = Factor de corrección por efecto de temperatura sobre el acero.
- CPS = Factor de corrección por el efecto de presión sobre el acero.
- CPL = Factor de corrección por el efecto de presión sobre el líquido.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

CTL = Factor de corrección por el efecto de temperatura sobre el líquido.

Existen varios tipos de probadores según su principio de funcionamiento:


- a) Probadores de tubería de desplazamiento mecánico.
- b) Probadores Convencionales.
- c) Probadores de Pequeño Volumen (Compactos).
- d) Tanques Probadores.
- e) Medidores Maestros.

Los probadores pueden ser:


- a) Móviles (portátiles) o Estacionarios (Fijos).
- b) Dedicados (para un Sistema de Medición) o Compartidos (para varios Sistemas de Medición).

7.1. RECOMENDACIONES GENERALES

- a) Los puntos de Transferencia de Custodia deben tener Probadores, ya sean móviles o estacionarios, los cuales a su vez pueden ser dedicados o compartidos.
- b) Preferiblemente, el probador debe instalarse aguas abajo del sistema de medición dinámica.
- c) Antes de comenzar una prueba del medidor (corrida de calibración) es necesario tener alineado el probador durante el tiempo necesario para que los parámetros operativos (rata de flujo, temperatura, presión, densidad) se estabilicen.
- d) Durante todo el proceso de prueba se debe garantizar que la totalidad del flujo que pasa por el Medidor debe ser igual al que pasa por el Probador.
- e) Si un medidor es utilizado para medir diferentes tipos de Productos, entonces se deberá calibrar para cada uno de estos.
- f) Si el medidor no puede ser calibrado con el Líquido que va a medir entonces se deberá calibrar con otro que tenga una densidad y viscosidad lo más cercana posible al líquido que va ser medido.
- g) Durante la calibración debe evitarse cambios de fase en el líquido, vaporizaciones, cavitaciones, etc.
- h) El procedimiento de pruebas de calibración debe realizarse con alto grado de exactitud y todas las corridas deben hacerse de forma continua, con el mismo equipo y operador (persona o máquina).
- i) No se deben realizar pruebas del medidor con flujos pulsantes.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

- j) Si la temperatura del probador es susceptible de cambiar durante el proceso de calibración por efecto de la temperatura ambiente, en el diseño del probador se debe prever instalar aislamiento térmico al probador y a las tuberías de proceso de entrada y salida del probador.
- k) Se debe evitar tener el probador en línea por tiempos prolongados para disminuir el desgaste prematuro del recubrimiento interno, daño del desplazador o de los amortiguadores.
- l) En los sistemas de medición dinámica multi-producto, y para evitar tener que drenar el probador o contaminar el producto entrante, se recomienda alinear el probador antes de cada cambio de producto.
- m) Se recomienda que las conexiones de entrada y salida del probador al proceso sean lo más cortas posibles, para minimizar las cantidades de producto drenado o vaciado cada vez que se requiera, por motivos de mantenimiento o motivos operacionales, alinear el probador a otro sistema de medición diferente (probador compartido). Lo mismo sucede cuando se carga nuevamente el probador con producto. Las cantidades drenadas o cargadas se deben cuantificar apropiadamente ya que estas afectan la Transferencia en Custodia, los Tiquetes de Medición y los balances volumétricos.
- n) Se recomienda dejar las conexiones adecuadas para poder recalibrar el probador por el método de "Water Draw".
- o) Se recomienda instalar precintos de seguridad en los equipos de medición e instrumentación asociada tanto en campo como en sala de control para asegurar y mantener la integridad del sistema.
- p) Se recomienda hacer periódicamente pruebas de fuga o pase a las válvulas de entrada, salida y derivación del probador, así como a las del sistema de medición en general y a las válvulas de control de flujo o válvula de 4 vías del probador, o según lo especificado en la Tabla 1 del Capítulo 1 del MMH.
- q) Los diámetros, del probador, de las tuberías de entrada y salida y de las válvulas, dependen de la máxima caída de presión permitida por las condiciones de diseño y operacionales del sistema de medición. Un exceso de caída de presión a través del probador podría limitar la máxima rata de flujo a la cual se puede verificar un medidor.
- r) La señal eléctrica de pulsos que genera un medidor puede presentar oscilaciones o variaciones de frecuencia aun cuando la rata de flujo permanezca constante. Estas variaciones pueden ser causadas por imperfecciones mecánicas o eléctricas del medidor, por el generador de pulsos o por las técnicas de procesamiento para generar pulsos. Lo anterior puede causar que las pruebas del medidor no den la repetibilidad deseada o que obtenerla sea más difícil. Lo anterior permite tomar la decisión de determinar el número de corridas óptimas para hacer la calibración y determinar el factor del medidor.
- s) Los transmisores de temperatura del brazo del medidor deben tener una exactitud menor o igual a 0,5°F y de 0,2°F para los del probador y una resolución y rango apropiados (ver MMH, Capítulo 21 Sistemas de Medición Electrónica,). Normalmente, cada brazo de medición tiene un transmisor de temperatura instalado aguas abajo del medidor, los probadores convencionales tienen instalados dos (2) transmisores de temperatura, uno a la entrada del probador y el otro a la salida, y los probadores compactos tienen un solo transmisor de temperatura instalado aguas arriba de la sección calibrada.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

- t) Los transmisores de presión deben tener una exactitud menor o igual al 3 psi (ver MMH, Capítulo 21 Sistemas de Medición Electrónica,). Normalmente, cada brazo de medición tiene un transmisor de presión instalado aguas abajo del medidor, los probadores convencionales tienen instalados dos (2) transmisores de presión, uno a la entrada del probador y el otro a la salida, y los probadores compactos tienen un solo transmisor de presión instalado aguas arriba de la sección calibrada.

7.2. PROBADORES DE TUBERÍA DE DESPLAZAMIENTO MECÁNICO

La ventaja de estos probadores es que no es necesario interrumpir el flujo durante el proceso de determinación del MF, lo cual implica que el medidor puede probarse a las condiciones de flujo, densidad, viscosidad, temperatura y presión reales de proceso.

Consisten en un tramo de tubería industrial, la cual puede ser recta o doblada en forma de "U".

Los materiales utilizados en un probador deben cumplir con los códigos aplicables a la clasificación de áreas, los rangos de presión y temperatura y la resistencia a la corrosión.

Las tuberías y sus accesorios deben seleccionarse adecuadamente para garantizar la redondez y la lisura internas.

Dependiendo del material usado para el probador, se recomienda instalar internamente a la tubería una capa de un material que sea duro, liso y duradero para reducir la corrosión y fricción y poder prolongar la vida del desplazador y del probador mismo.

El material de la capa de las paredes internas del probador debe ser compatible con toda la gama de productos a probar. Usualmente están revestidas con una resina epóxica o con una capa fenólica horneada.

Las partes principales de un probador convencional de desplazamiento mecánico, son:

- Cámara de Lanzamiento.
- Sección de Carrera Previa.
- Sección de Volumen Calibrado.
- Interruptores Detectores.
- Desplazador.
- Válvulas.

Como referencia se muestra la imagen de un probador bidireccional (ver Figura 2):

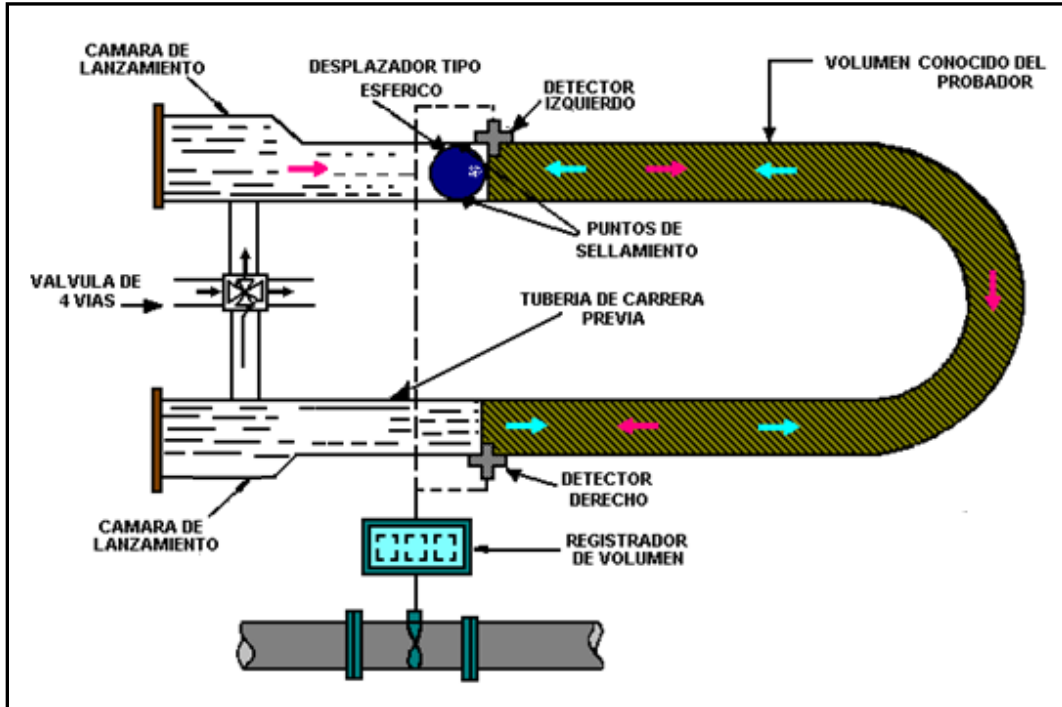


Figura 2. Partes de un Probador Convencional.

7.2.1. Cámaras de Lanzamiento

Estas cámaras deben tener un diámetro comercial por lo menos dos (2) veces mayor que el diámetro comercial de la sección calibrada y están ubicadas en cada extremo del probador. Cada vez que el desplazador llega a un extremo del probador, la cámara disminuye la velocidad de este hasta que para, lo aloja y permite que el líquido siga fluyendo sin restricción alguna.


Cuando se invierte el sentido de flujo, éste empuja el desplazador fuera de la cámara, lanzándolo hacia la sección de volumen calibrado. Al menos una de las cámaras debe tener tapa tipo apertura rápida, con protección por presión antes de poderse abrir.

Se debe instalar válvulas de venteo en el punto más alto de las cámaras de lanzamiento.

7.2.2. Sección de Carrera Previa

Es la sección de tubería instalada entre la cámara de lanzamiento y la sección de Volumen Calibrado.

Los mecanismos que retornan o invierten el sentido de flujo del desplazador tardan un tiempo en operar, tiempo durante el cual el flujo se encuentra dividido entre la entrada y salida del probador, causando que la totalidad del flujo que pasa por el medidor no sea igual a la totalidad del flujo que empuja al desplazador.

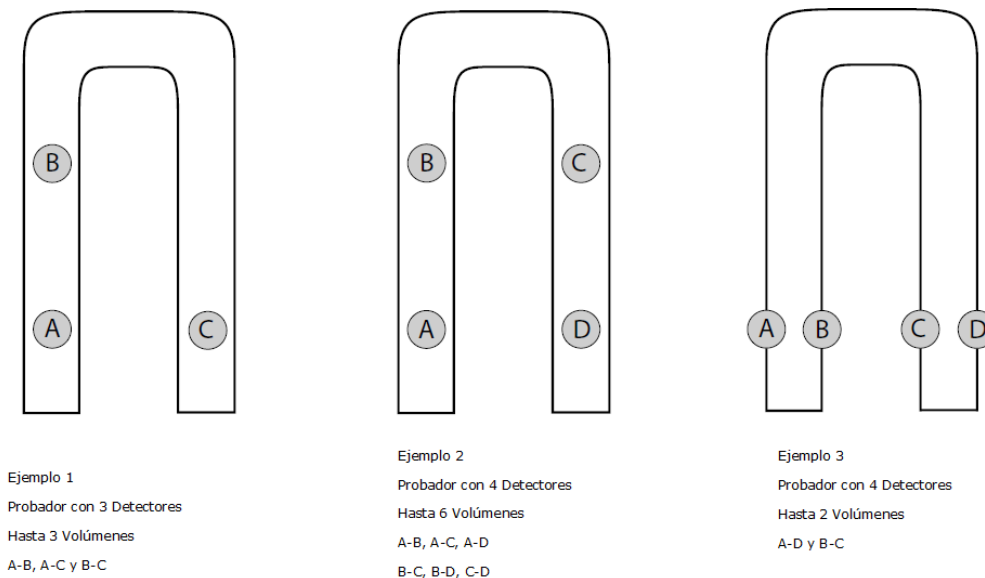
	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Por lo anterior se requiere de una sección de tubería de Carrera Previa (pre run) cuya longitud y diámetro a la máxima rata de flujo garantice el tiempo suficiente para que los mecanismos de retorno o inversión del flujo terminen su operación y hagan sello completo, antes que el desplazador active el detector inicial de la sección de Volumen Calibrado.

7.2.3. Sección de Volumen Calibrado

Está delimitada por dos interruptores detectores y cuya capacidad volumétrica está exactamente determinada. La cantidad de fluido (producto) que es desplazado entre los dos (2) detectores es el volumen de la sección calibrada del probador.

Se pueden instalar varios interruptores detectores para tener más de un volumen calibrado (Ver Fig. 3).



Fuente: API MPMS 4.9.1 Fig. 2.


Figura 3. Probador con Múltiple Detectores.

No está permitido tener instaladas válvulas de venteo, drenaje o alivio, así como cualquier tipo de indicador o transmisor de señales dentro de la sección calibrada del probador.

Para probadores unidireccionales, el volumen base del probador es el volumen desplazado de la sección calibrada en el sentido del flujo, corregido a condiciones estándar de temperatura y presión.

Para probadores bidireccionales, el volumen base del probador es el volumen desplazado de la sección calibrada en un sentido de flujo, sumado al volumen desplazado de la sección calibrada en el sentido contrario de flujo, corregidos ambos a condiciones estándar de temperatura y presión.

El volumen base certificado de un probador debe ser determinado por alguno de los tres métodos siguientes: drenado de agua (Water Draw), medidor maestro y gravimétrico, realizando como mínimo

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

tres (3) corridas de calibración consecutivas con una repetibilidad que esté dentro del 0,02% (API MPMS 4.2 y API MPMS 4.9).

En la calibración de un probador nuevo, modificado o reparado se podrían realizar más de tres (3) corridas de calibración para aumentar el nivel de confianza. Las calibraciones históricas se deben mantener y evaluar para juzgar objetivamente los procedimientos e intervalos de calibración.

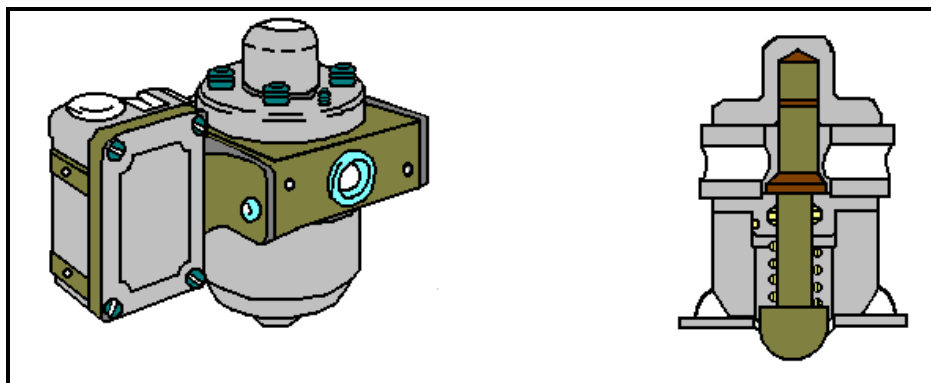
7.2.4. Interruptores Detectores

Un interruptor detector es un dispositivo montado externamente al probador, el cual tiene un mecanismo que le permite detectar con la mayor precisión posible la entrada o salida del desplazador al comienzo y al final de la sección calibrada del probador.

Los interruptores detectores deben ser capaces de indicar el paso del desplazador dentro una parte en diez mil (1 en 10.000) de la distancia lineal entre los detectores (rango de 0,01%). La repetibilidad con la cual un interruptor puede detectar la presencia del desplazador debe ser lo más precisa como sea posible, ya que este es uno de los factores que determinan la longitud mínima de la sección calibrada.

Si un detector o cualquiera de sus partes es reparado o remplazado, se debe tener extremo cuidado de que su posición de montaje, sensibilidad de detección y distancia lineal con el otro u otros detectores no cambie. Si lo anterior no se garantiza o el volumen del probador cambia, entonces es necesario volver a recalibrar el probador.

Los detectores pueden ser del tipo mecánico u óptico.




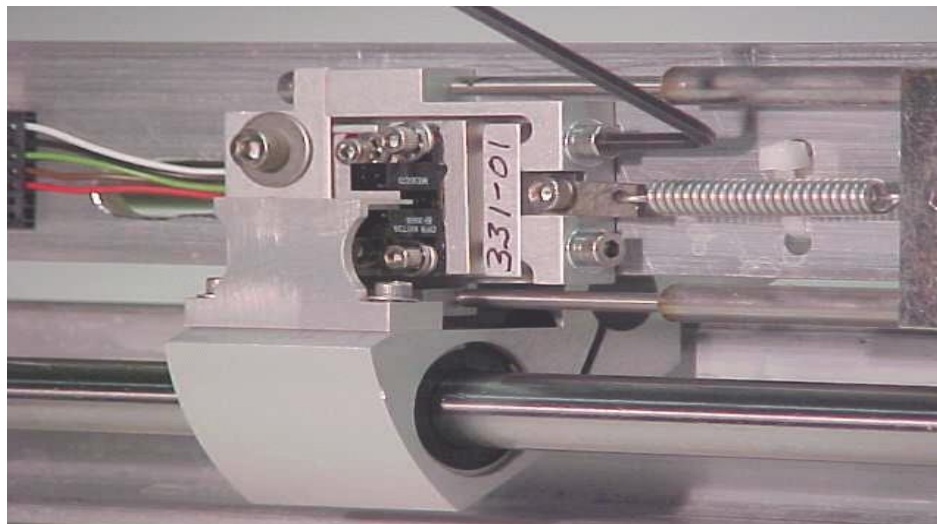
Fuente: Smith Meter.

Figura 4. Detector con Interruptor Mecánico.

Los detectores mecánicos son intrusivos y se instalan directamente sobre la tubería del probador al principio y al final de la sección de volumen calibrado. Están compuestos por dos partes: Un émbolo que es desplazado verticalmente por el paso del desplazador y el cual activa un interruptor mecánico o magnético (ver Figura 4).

Los detectores ópticos son no intrusivos y se instalan por fuera de la sección de volumen calibrado. Activan interruptores fotoeléctricos por medio de una bandera sujeta al extremo de un eje que se desplaza con el movimiento del desplazador (ver Figura 5).

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013



Fuente: Emerson_Daniel Compact Proveer.

Figura 5. Detector con Interruptor Óptico.

7.2.5. Desplazadores


El desplazador se inserta dentro de la tubería y su función es hacer un perfecto sello mecánico móvil con las paredes internas del probador y activar los detectores que demarcan la entrada y salida de la sección de volumen calibrado.

7.2.5.1. Desplazadores de Esfera

Estos desplazadores son esferas inflables, fabricadas con diferentes tipos de elastómeros según la aplicación y producto que van a manejar. Los materiales más usados son: Neopreno, Nitrilo y Poliuretano (ver Figura 6).

La ventaja de los desplazadores de esfera es que pueden ser usados tanto en probadores rectos como en probadores doblados en "U".

No hay ningún material que sea ideal para todas las aplicaciones, por tanto, se debe tener en cuenta las características y composición química de los productos y aditivos a manejar, así como su máxima temperatura y presión de trabajo para seleccionar el material del desplazador y obtener el mejor desempeño posible.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

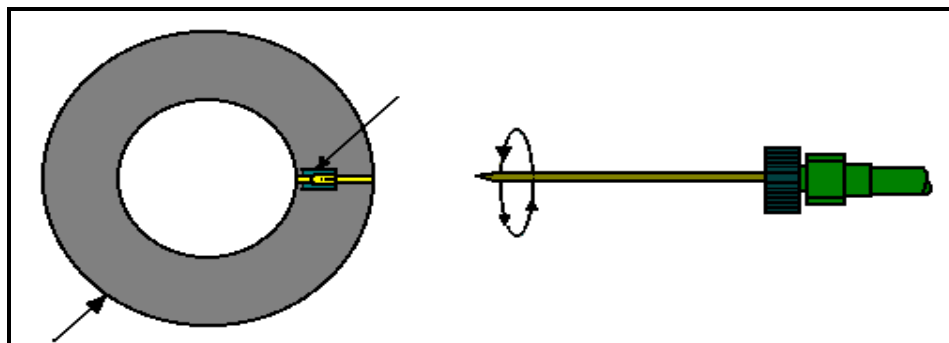


Figura 6. Desplazador de Esfera y Aguja para Inflarla.


Los compuestos aromáticos y los oxigenantes (MTBE, etc.) pueden atacar y causar ablandamientos, deformaciones o derretimientos del desplazador. Para mejorar el desempeño con químicos especiales, se pueden utilizar materiales como Viton, Teflón o Buna.

- Esferas de Neopreno: Son buenas para aplicaciones de crudo de baja presión y anhídrido de amoniaco. No se recomienda para productos con presencia de aromáticos. Son de color negro.
- Esferas de Nitrilo: Son utilizadas para aplicaciones con derivados del petróleo (gasolinas, kerosenes, diesel, etc.) y para crudos de alta presión. Son de color negro.
- Esferas de Poliuretano: Son más resistentes a la abrasión que las mencionadas anteriormente. Se distinguen por los siguientes colores:
 - Amarillas (durómetro 53): Para aplicaciones de crudos dulces, gasolinas, aceites calientes, jet A1, avigas, butanos, propanos, gases naturales líquidos y todos los productos refinados no catalogados como aromáticos.
 - Verde (durómetro 58): Para aplicaciones de gas natural a altas presiones.
 - Roja (durómetro 66): Para aplicaciones con tolueno, propileno y donde algunos compuestos tienden a provocar ampollas y causar deterioros a la esfera.

La esfera normalmente se infla con agua. En aplicaciones criogénicas o con GLP se llenan con una mezcla de 50/50% de agua y glicol para evitar el congelamiento. Se debe tener cuidado de que no quede aire atrapado dentro de la esfera, ya que este es compresible con la presión, causando deformaciones en la superficie y diámetro de la esfera.

La esfera debe sobre inflarse para garantizar que haga sello perfecto (a prueba de fuga) contra las paredes internas del tubo probador y evitar los pases de producto. El inflado debe hacerse según las especificaciones del fabricante y dependiendo del diámetro interno y del estado de la tubería, típicamente entre un 2% y un 3% para tuberías menores de 20". Para tuberías mayores de 20" se debe sobre inflar por encima de un 3% para compensar la deformación causada por el peso de la esfera.

Se debe evitar el sobre inflado para prevenir el desgaste prematuro de la esfera o del recubrimiento interno del probador y el aumento de caída de presión.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Se debe evitar también el sub inflado ya que causa falla en el sello de la esfera generando pases de producto y errores en la detección de los interruptores detectores y por tanto dando error en el volumen calibrado del probador.

Normalmente el diámetro de la esfera se mide con un aro calibrado hecho de baquelita. Para asegurar el diámetro y esfericidad se deben hacer varias mediciones en diferentes posiciones de la esfera. Las mediciones deben ser realizadas sobre un plano vertical.

El diámetro y esfericidad de la esfera deben ser verificados periódicamente y si es el caso se debe re inflar o cambiar. Para esto, se recomienda que el probador tenga una compuerta (tapa) de apertura rápida en por lo menos en una de sus cámaras de lanzamiento.

Según el tipo de compuerta y cámara de lanzamiento, se deben dejar las facilidades e implementos para inserción y remoción de la esfera (plataformas, bombas de vacío, etc.).

7.2.5.2. Desplazadores de Pistón

Los desplazadores de pistón deben ser lo más livianos posible. Los materiales con que están hechos y sus sellos, deben ser compatibles con las características de los productos y químicos de la temperatura y presión que manejen. Son fabricados con Teflón, Viton, Poliuretano, Nitrilo, Buna o Neopreno.

Pueden tener diferentes formas según el fabricante o necesidades del usuario. Pueden ser del tipo pistón con anillos selladores o del tipo copa raspadora.

El anillo de sello de los pistones tiene menos área de superficie de contacto con la tubería interior y por lo tanto menos fricción. Menos fricción implica menos diferencial de presión para mover el pistón y por tanto el resultado es que el pistón se puede mover a muy bajas velocidades, hasta de décimos de pulgada por segundo.

Para prevenir daños, se debe evitar que las partes metálicas del desplazador hagan contacto con las paredes del probador. En todo caso, se debe garantizar el sello perfecto del desplazador contra las paredes internas del probador. Los sellos pueden ser remplazados pudiéndose reutilizar el pistón.


Los pistones pueden ser diseñados para que tengan varias secciones (anillos) de sello cuyo grosor debe estar entre el 2 y 3% mayor que el diámetro interior de la tubería. Debido a que los sellos del pistón pueden ser fabricados en plástico en lugar de elastómeros, estos probadores utilizando estos materiales tienen un rango de temperatura de operación de -50 a +400°F. Esta cualidad hace a los probadores de pistón ideales para productos con temperaturas extremas.

Los desplazadores de pistón solo pueden usarse en probadores rectos.

7.2.6. Válvulas

Para que las corridas de prueba sean válidas, el 100% del flujo que pasa por el medidor bajo prueba debe ser igual al 100% del flujo que pasa por el probador.

Por tanto, todas las válvulas del sistema de medición (alineación brazos de medición, bypass del probador, cuatro vías y de drenajes del probador) que puedan causar que alguna porción del flujo que pasa por el medidor bajo prueba no pase por el probador, deben ser de doble aislamiento y purga con mecanismo que permita verificar la integridad total del sello.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Se debe verificar periódicamente en brazos de medición y en el probador que las válvulas de drenaje, venteo, alivio, etc., no tengan pase.

El tiempo de giro de la válvula de cuatro vías para cambiar el sentido del flujo en el probador bidireccional, debe ser menor que el tiempo que gasta el desplazador en ir desde la cámara de lanzamiento hasta el primer detector. Cada vez que la válvula cambie de vía debe quedar totalmente asentada y con sello total.

Las válvulas de drenaje se deben instalar en la parte más baja del sistema probador para garantizar el adecuado drenaje del mismo. Las válvulas de venteo se deben instalar en la parte más alta del sistema probador para garantizar la purga adecuada de aire y burbujas de gas.

Se recomienda dejar las bridas y conexiones necesarias para poder hacer las pruebas hidrostáticas y la calibración del probador.

Válvula de 4 vías: Debe contar con actuador eléctrico o electro hidráulico, dependiendo del tamaño de la válvula, controlado desde el computador de flujo. El actuador debe tener Interruptores de posición, conectado al computador de flujo. Debe tener en su cuerpo un indicador de presión, interruptor o transmisor de presión diferencial que permita supervisar el sello de la válvula durante la calibración de los medidores.

La rata de flujo máxima que maneja una válvula de 4-vías con actuador eléctrico se puede determinar a partir de la tabla 3.

Tabla 3. Características de las Válvulas.


TAMAÑO VÁLVULA (pulg)	MÁXIMA RATA DE FLUJO (bph)	TAMAÑO VÁLVULA (pulg)	MÁXIMA RATA DE FLUJO (bph)
2"	785	8"	5,700
3"	785	10"	8,850
4"	1,430	12"B	9,150
6"	3,285	12"CA	10,150
		16"	14,285

El tiempo típico de transito de una válvula de 4 vías para cambio de sentido del flujo es de aproximadamente de 5 segundos para minimizar la longitud de las tuberías de carrera previa.

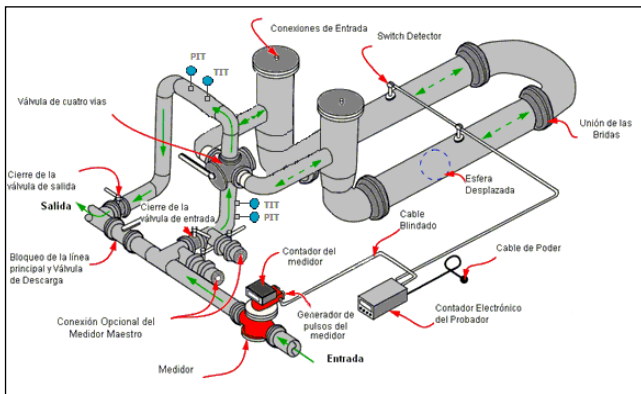
7.2.7. Principio de Funcionamiento

La Figura 7 muestra la imagen de dos tipos de probadores de tubería de desplazamiento mecánico, un probador bidireccional de pistón de tubo recto y un probador bidireccional de esfera de tubo doblado en "U".

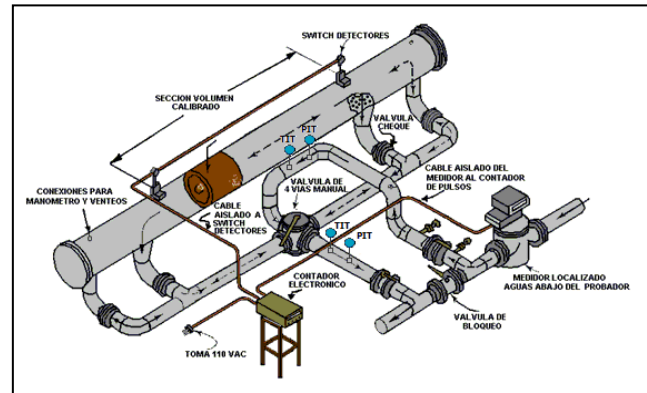
Si a través del medidor, de la tubería asociada y del probador se hace fluir un líquido, éste empuja el desplazador sin que el líquido pase a través de él, generando una caída de presión y desplazando el fluido contenido en el tubo probador aguas abajo del desplazador.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Cuando el desplazador llega al inicio de la sección de volumen calibrado, activa el detector de entrada que habilita a un dispositivo para contar los pulsos generados por el medidor. El conteo de pulsos continúa hasta que el desplazador activa el detector de salida al salir de la sección de volumen calibrado.



Fuente: API MPMS 4.2 Fig. 3.



Fuente: API MPMS 4.2 Fig. 4.

Figura 7. Probadores de Sección Recta y Sección Doblada en Forma de "U"

Cuando el desplazador llega al extremo del probador, debe haber algún mecanismo o cámara de mayor diámetro que permita disminuir su velocidad y alojarlo permitiendo que el líquido siga fluyendo sin restricción alguna.


Una vez el desplazador está dentro de la cámara, hay dos opciones: retornar el desplazador por medio de algún mecanismo nuevamente a la posición inicial aguas arriba de la sección de volumen calibrado (probador unidireccional), o invertir el sentido del flujo por medio de una válvula de cuatro vías y despachar nuevamente el desplazador en sentido contrario para que pase una segunda vez por la sección calibrada hasta retornar nuevamente a la cámara inicial de lanzamiento (probador bidireccional).

El número de pulsos contados del medidor a través de la sección calibrada equivale al Volumen Indicado del Medidor (VIM), así:

- Kfactor → $K_{factor} = \text{Pulsos Generados} / \text{Unidad de Volumen.}$
- Probador Unidireccional → $V_{IM} = \text{Pulsos Ida} / K_{factor}.$
- Probador Bidireccional → $V_{IM} = \text{Pulsos (Ida + Vuelta)} / K_{factor}.$

El Volumen Base certificado del probador se comparará con el volumen Indicado del Medidor, ambos a condiciones estándar de temperatura y presión, para determinar el MF (ver ecuación 1).

Se requiere que el conteo de pulsos tenga una resolución mínima de una (1) parte en diez mil (10.000) es decir (0,0001). Por tanto la resolución del medidor (pulsos/unidad de volumen) y el volumen del probador deben ser los adecuados para acumular como mínimo 10.000 pulsos completos (sin alteración alguna) entre interruptores detectores en cada pasada del desplazador.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

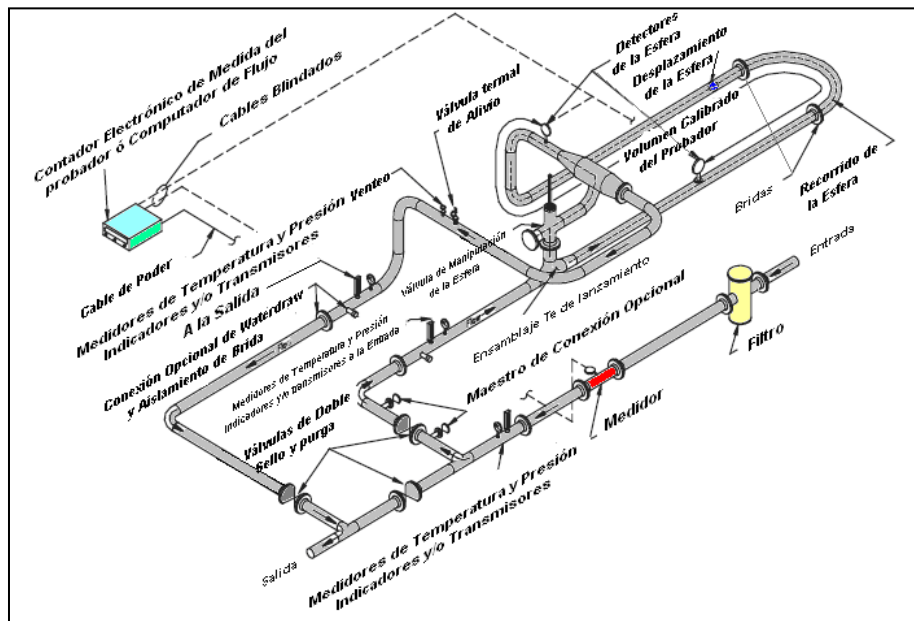
Si el número de pulsos contados durante una pasada del desplazador entre interruptores detectores no alcanza los 10.000 pulsos, entonces se debe utilizar la técnica de doble cronometría de Interpolación de Pulsos (API MPMS 4.6) para mantener una discriminación mejor o igual de uno en diez mil (0,0001).

Si el desplazador tiene pase, entonces se requerirá un tiempo mayor para que el desplazador pase a través de la sección de volumen calibrado, haciendo que se cuente un número mayor de pulsos del medidor y por tanto causando un error en la determinación del Volumen Indicado del Medidor. Si todas las corridas de prueba se hacen a una rata de flujo constante, entonces la corrida podría dar repetibilidad aunque el MF determinado sea erróneo.

El volumen del probador y la máxima velocidad de diseño del desplazador (calculada a máxima rata de flujo) determinarán el diámetro del probador.

7.2.8. Probadores Unidireccionales de Esfera


Son probadores de tubería doblados en forma de "U", donde el desplazador de esfera viaja únicamente en un sentido a través de la sección calibrada (Ver figura 8). Tienen un arreglo de tuberías y un sistema intercambiador que permite regresar la esfera a su posición inicial de lanzamiento sin tener que retirarla del probador.



Fuente: API MPMS 4.2 Fig 1.

Figura 8. Probador Unidireccional de Esfera.

El volumen base de un probador unidireccional es el volumen de la sección calibrada entre los detectores corregido a las condiciones estándar de temperatura y presión.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

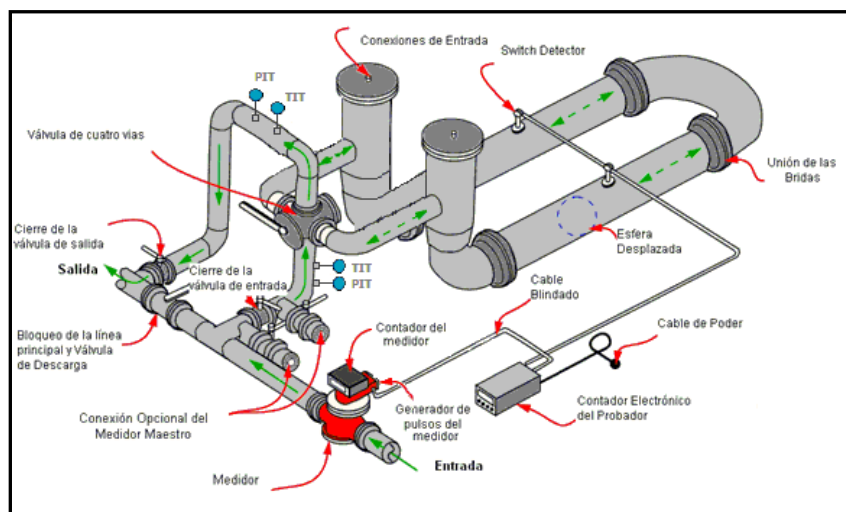
7.2.9. Probadores Bidireccionales de Esfera

Son probadores de tubería doblados en forma de "U", donde el desplazador de esfera viaja a través de la sección calibrada primero en un sentido y luego de regreso en el sentido contrario (Ver figura 9).

El volumen base de un probador bidireccional es la suma del volumen de la sección calibrada primero en un sentido y luego en el otro, corregido a las condiciones estándar de temperatura y presión.

Estos probadores requieren de dos cámaras de lanzamiento, una en cada extremo del probador, para frenar la velocidad del desplazador y alojarlo cuando este llega o para lanzarlo cuando se invierte el sentido del flujo.

Las cámaras de lanzamiento pueden ser horizontales (en el mismo sentido del eje de la tubería de proceso), oblicuas (con diferentes grados de inclinación, menores a 90°) y verticales (a 90°).



Fuente: API MPMS 4.2 Fig. 3

Figura 9. Probador Bidireccional de Esfera

En el diseño vertical y oblicuo, el desplazador frena y arranca por efecto de la gravedad; en las de diseño horizontal debe haber un sistema amortiguador o una rampa inclinada.

El sentido del flujo a través del probador se controla con una válvula de cuatro vías. Esta válvula debe ser libre de fugas y debe tener el mecanismo necesario para poder verificar la integridad de los sellos.

El diámetro de la válvula de cuatro vías está determinado por la velocidad del fluido que puede pasar por ella sin dañar los empaques de los sellos.


	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Tabla 4. Tamaños de Probadores Bidireccionales de Esfera.

PROBADOR BIDIRECCIONAL DE ESFERA		
TAMAÑO TUBO PROBADOR	TAMAÑO CÁMARA DE LANZAMIENTO	RANGO DE FLUJO
[Pulgadas]	[Pulgadas]	[BPH]
4"	8"	30 – 300
6"	10"	65 – 650
8"	12"	110 – 1,100
10"	14"	180 – 1,800
12"	16"	250 – 2,500
14"	18"	300 – 3,000
16"	20"	410 – 4,100
18"	24"	500 – 5,000
20"	24"	650 – 6,500
24"	30"	930 – 9,300
30"	36"	1,100 – 11,000

La longitud de la sección de carrera previa debe ser mayor a la distancia recorrida por el desplazador a la máxima rata de flujo durante del tiempo que tarda la válvula de cuatro vías en girar y hacer sello completo.

La Tabla 4 muestra diferentes tamaños de probadores bidireccionales.

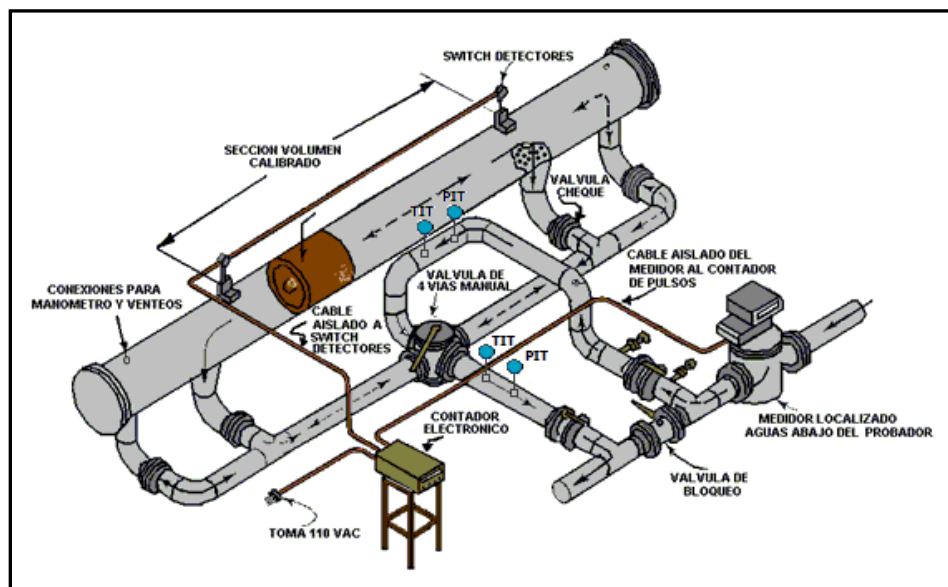
7.2.10. Probadores Bidireccionales de Pistón

Son parecidos a los probadores bidireccionales de esfera. Su diferencia radica en que son construidos en una sección de tubería recta, su desplazador es un pistón y no tienen cámaras de lanzamiento (ver Figura 10).

Específicamente los probadores de pistón son ideales para lo siguiente:

- Cuando se desean bajas velocidades.
- Temperaturas extremas.
- Incompatibilidad del líquido manejado con el material de la esfera.

El tubo probador termina en cada extremo con una brida ciega, antes de las cuales hay conexiones separadas de entrada y salida en un diámetro menor. Las tuberías de entrada deben estar cerca de la brida ciega en cada extremo. Las tuberías de salida deben estar alejadas de las tuberías de entrada por lo menos una distancia mayor a la longitud del desplazador.



Fuente: API MPMS 4.2 Fig. 4.

Figura 10. Probador Bidireccional de Pistón.

En las tuberías de salida se instala una válvula cheque para permitir que el flujo salga sin interrupción cuando el pistón viaja la brida ciega del probador. Cuando el flujo se reversa, la válvula cheque se cierra impidiendo el paso del flujo por la tubería de salida y causando que el flujo fluya por la tubería de entrada empujando el desplazador hacia la sección de volumen calibrado.

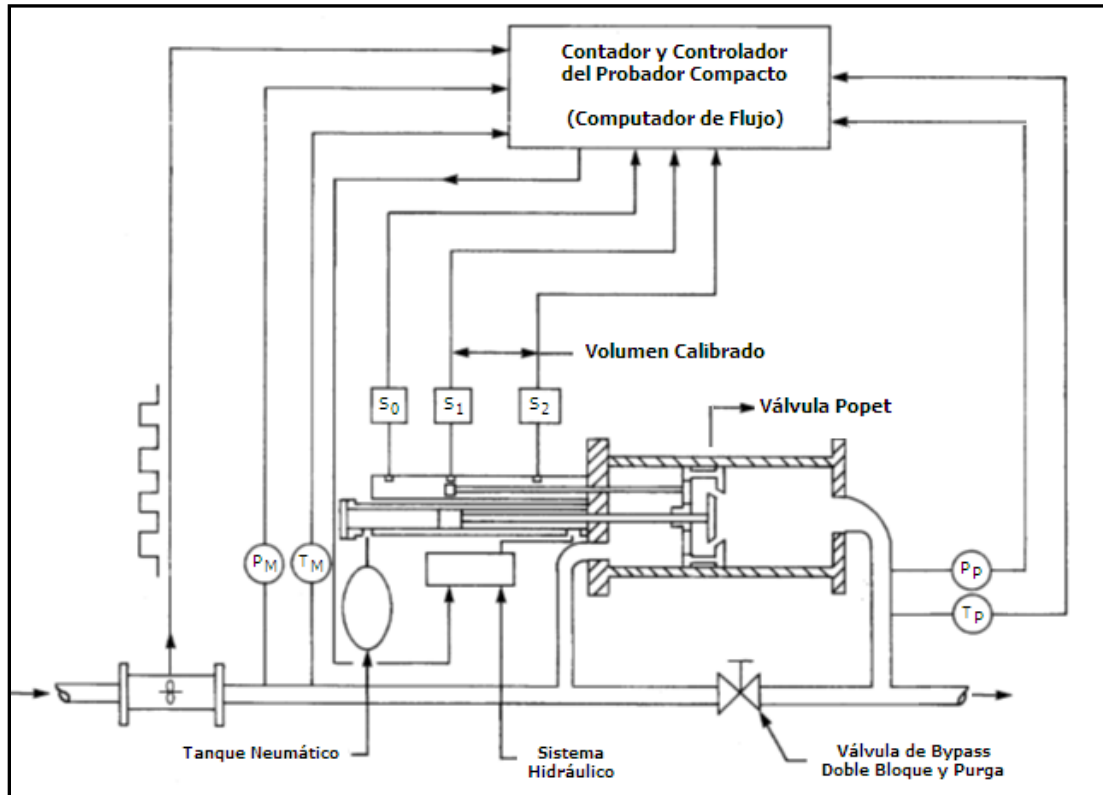
El sentido de giro de la válvula de cuatro vías determina la dirección del flujo.

La longitud de la sección de carrera previa debe cumplir con los mismos requisitos del probador bidireccional de esfera.

7.2.11. Probadores Compactos (Unidireccionales de Pistón)

Los Probadores compactos son aquellos en donde la longitud de la sección calibrada es muy corta comparada con la de un probador convencional y por tanto acumulan durante cada pasada del pistón a través de la sección de volumen calibrado entre detectores menos de 10.000 pulsos inalterados y completos generados por el medidor de flujo. Por lo anterior, a este tipo de probadores se les debe aplicar la técnica de Doble Cronometría de Interpolación de Pulsos para poder mantener como mínimo una discriminación de 1 en 10.000 (API MPMS 4.6).

Utilizan interruptores detectores del tipo óptico que son capaces de señalar la posición del pistón con un alto grado de precisión. Esto obliga a que los detectores ópticos sean montados por fuera del recipiente del probador en una cámara aparte y aislada del fluido pero relacionados, a través de un eje conector, con el pistón que se mueve dentro del probador (ver Figura 11).




Fuente: API MPMS 4.3 Fig. 2.

Figura 11. Probador de Volumen Pequeño (Compacto).

Los detectores ópticos indican la posición del desplazador dentro del $\pm 0,01\%$ de la distancia lineal entre ellos, lo cual permite instalar los detectores de la sección calibrada con una separación lineal muy corta entre sí, haciendo que el volumen de la sección calibrada sea mucho menor que el de un probador convencional. Típicamente el volumen de estos probadores es del orden de galones, no superando los 200 galones. Esto permite hacer las pasadas de prueba muy rápidamente, disminuyendo el tiempo y la cantidad de volumen de producto requerido para hacer una calibración. Como la longitud del probador es muy corta, esto permite aumentar la velocidad del desplazador y por tanto aumentar la rangeabilidad del probador.

El montaje de los detectores ópticos que demarcan la sección de volumen calibrado debe hacerse con materiales de muy baja expansión térmica, de tal forma que una vez en servicio la distancia lineal entre ellos cambie lo menos posible. El fabricante debe suministrar la ecuación para calcular la compensación por efecto del desplazamiento lineal entre detectores, debido a la temperatura. Se debe verificar que la ecuación utilizada en el computador de flujo coincida exactamente con la ecuación del fabricante del probador.

El desplazador está compuesto por un pistón que contiene una válvula Poppet concéntrica. El pistón, su válvula Poppet y los ejes sobre los cuales van montados, deben estar perfectamente alineados para evitar pases indeseados de producto o atascamiento del pistón.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

El probador compacto debe tener un sistema que permita verificar la integridad del sello del pistón y de la válvula Poppet.

Estos probadores son unidireccionales y permiten el flujo únicamente en una dirección. Deben poseer un mecanismo que retorne el desplazador nuevamente a su posición inicial aguas arriba de la sección calibrada.

Cuando el medidor bajo prueba se instala aguas arriba del probador, el flujo pasa primero por el medidor y luego por el probador. Por tanto el volumen certificado del probador es el volumen aguas arriba del desplazador.

Cuando el medidor bajo prueba se instala aguas abajo del probador, el flujo pasa primero por el probador y luego por el medidor. Por tanto el volumen certificado del probador es el volumen aguas abajo del desplazador.

Los modelos estándar de probadores compactos suministrados por los fabricantes vienen diseñados para trabajar en posición horizontal. Cuando hay restricciones de espacio (plataformas costa afuera) o se manejan productos con altos contenidos de sedimentos o productos con muy baja lubricidad (GLP) es conveniente instalar el probador compacto en forma vertical. En este caso, se debe consultar con el fabricante para hacer las modificaciones requeridas para poder montarlo en forma vertical, o hacer el pedido de compra especificando de una vez la opción para montaje vertical.


Desde el punto de vista de diseño, hay dos tipos de probadores compactos que se diferencian en la forma de sostener la válvula Poppet y de retraerla nuevamente a la posición inicial aguas arriba de la sección de volumen calibrado, como son:

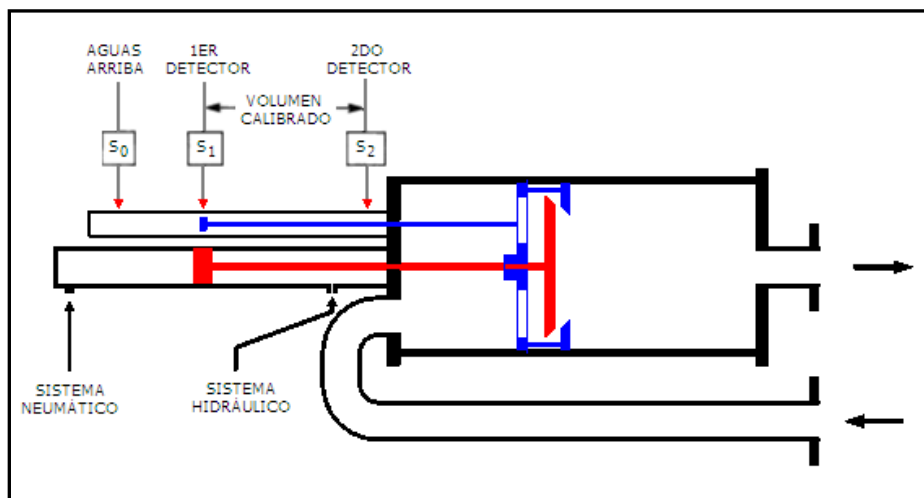
7.2.11.1. Probador Compacto Brooks-Daniel-Emerson

En el probador compacto Emerson, el conjunto pistón-válvula Poppet está sostenido únicamente por un eje conectado a la válvula Poppet en la cara aguas arriba del sentido del flujo (ver Figura 12).

Tiene además una varilla que por un extremo está asegurada a la cara del pistón de forma similar al eje, mientras que el por el extremo exterior al probador tiene una bandera que activa los detectores ópticos a su paso.

En este tipo de probador, el volumen desplazado aguas arriba será menor que el volumen desplazado aguas abajo, debido a que hay que descontar el volumen que ocupa el eje y la varilla conectados aguas arriba del pistón-válvula Poppet.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1



Fuente: Calibron Systems.

Figura 12. Probador Compacto Brooks-Daniel

El probador debe ser calibrado tanto aguas abajo como aguas arriba y sus volúmenes deben estar registrados en el certificado de calibración del probador. Si únicamente un volumen es registrado en el certificado, se deberá clarificar e identificar el lado del probador que fue calibrado.

El probador tiene tres (3) juegos de detectores ópticos que son:

- S_0 → Indicador pistón aguas arriba.
- S_1 → Indicador inicio sección calibrada.
- S_2 → Indicador fin sección calibrada.


El mecanismo de retorno del pistón es un sistema de presión hidráulico que hala el pistón aguas arriba haciendo que la válvula Poppet se abra y que el producto fluya sin restricciones hasta alcanzar el detector óptico S_0 que indica que se ha alcanzado la posición aguas arriba. En ese momento, el sistema de control quita la presión hidráulica y el pistón se suelta y es desplazado por el flujo aguas abajo. Cuando el pistón se mueve, arrastra la bandera la cual pasa a través de los detectores ópticos S_1 y S_2 activándolos secuencialmente a través de la sección de volumen calibrado.

La presión neumática ejerce una fuerza sobre la válvula Poppet en el sentido del flujo para garantizar que se cierra y hace sello completo con el pistón.

La distancia lineal entre S_0 y S_1 (sección de corrida previa) debe ser tal que permita que a la máxima tasa de flujo la válvula Poppet se haya cerrado y tenga sello completo antes que el pistón entre en la sección calibrada.

Cuando el pistón pasa por el detector óptico S_1 (inicio sección calibrada) se activa el sistema de doble cronometría que cuenta los pulsos del medidor hasta que el pistón pasa por el detector óptico S_2 (fin sección calibrada).

Por último, el pistón continúa viajando hasta el final del probador donde un mecanismo obliga a abrir la válvula Poppet y la retrae nuevamente a su posición aguas arriba.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

La Tabla 5 muestra diferentes tamaños de probadores compactos.

Tabla 5. Tamaño de Probadores Compactos Emerson.

PROBADOR COMPACTO EMERSON			
Tamaño tubo probador (pulgadas)	Tamaño bridas de Conexión (Pulgadas)	Volumen Base Probador (Gal)	Rango de Flujo (BPH)
8"	2"	5	0.36 – 357
12" mini	4"	10	1.43 – 1,428
12" std	6"	15	2.5 – 2,500
18"	8"	30	5 – 5,000
24"	12"	65	10 – 10,000

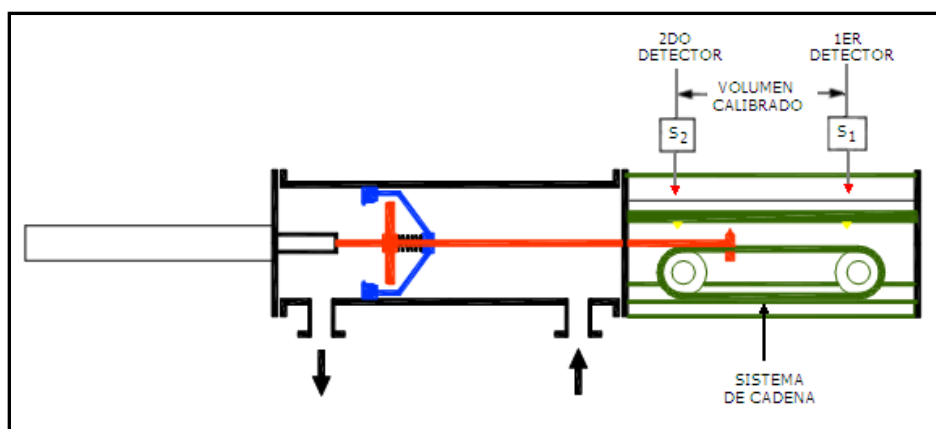
Fuente: Brooks Compact Prover.

7.2.11.2. Probador Compacto Calibron-Honeywell

En el probador compacto Honeywell, el conjunto pistón-válvula Poppet está sostenido por ambos lados por un eje simétrico que se desplaza aguas arriba y aguas abajo del probador (ver Figura 13).


La bandera que interactúa con los detectores ópticos está montada directamente sobre el eje que se mueve con el pistón.

En este tipo de probador el volumen aguas arriba es igual al volumen aguas abajo, debido a que el eje es simétrico de extremo a extremo ocupando el mismo volumen tanto aguas arriba como aguas abajo del desplazador.



Fuente: Calibron Systems - Syncrotrak Compact Prover.

Figura 13. Probador Compacto Syncrotrak.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Este probador tiene dos (2) detectores ópticos que son:

- $S_1 \rightarrow$ Indicador inicio sección calibrada.
- $S_2 \rightarrow$ Indicador fin sección calibrada.

Cuando no se está haciendo un proceso de calibración, el pistón, arrastrado por el flujo, reposa aguas abajo de la sección calibrada con su válvula Poppet totalmente abierta por un tope mecánico.

Cuando se inicia el proceso de calibración, el sistema de retorno del pistón activa un mecanismo de cadena que hala el pistón aguas arriba haciendo que la válvula Poppet permanezca abierta y que el producto fluya sin restricciones hasta alcanzar la posición aguas arriba. En ese momento, la cadena se desengancha mecánicamente del pistón. La válvula Poppet se cierra rápidamente haciendo sello completo por efecto de la fuerza de un resorte mecánico y causando que el flujo desplace el pistón aguas abajo. Cuando el pistón se mueve, arrastra la bandera que al pasar a través de los detectores ópticos S_1 y S_2 de la sección de volumen calibrado los activa secuencialmente.

Cuando el pistón pasa por el detector óptico S_1 , éste se activa indicando el inicio de la sección calibrada. Cuando el pistón pasa por el detector óptico S_2 , éste se activa indicando el fin de la sección calibrada.

Por último, un vez el pistón ha pasado por el detector S_2 se activa el mecanismo de retracción del pistón para iniciar un nuevo ciclo.


La Tabla 6 muestra diferentes tamaños de probadores compactos.

Tabla 6. Tamaños de Probadores Compactos Honeywell.

PROBADOR COMPACTO HONEYWELL			
Tamaño Tubo Probador (Pulgadas)	Volumen Calibrado Probador (Gal)	Máximo flujo para Turbinas (BPH)	Máximo Flujo para PDM, Coriolis y Ultrasónico (BPH)
3	5	715	715
6(S15C2)	20	2.140	1.719
6(S25C3)	20	3.570	1.719
8(S35C2)	25	5.000	4.671
8(S50C3)	40	7.200	5.783
12	75	12.500	11.267
16	120	17.500	15.922

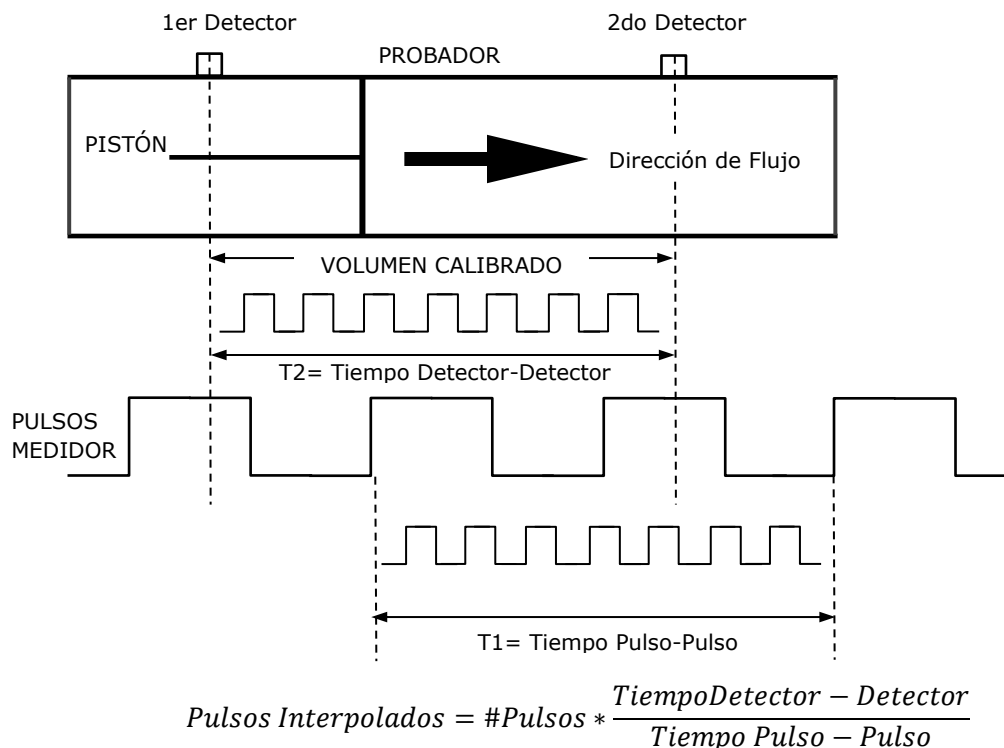
7.2.11.3. Interpolación de Pulsos por Doble Cronometría

Si durante una pasada del desplazador a través de la sección calibrada de un probador no es posible contabilizar como mínimo 10.000 pulsos completos, entonces no se puede cumplir con el nivel de incertidumbre requerido de 0,01%. Como referencia consultar el API MPMS 4.6.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Para poder cumplir con el nivel de incertidumbre requerido, se utiliza la técnica de interpolación de pulsos por doble cronometría.

En esta técnica, la discriminación de los pulsos contados del medidor (N_m) durante una pasada de prueba puede ser incrementada al aplicar una interpolación entre pulsos adyacentes con base en la medición de dos (2) intervalos de tiempo diferentes (T_1 y T_2) generados con una base de tiempo de alta frecuencia. Ver Figura 14.




Fuente: API MPMS 4.6 Fig. A-1

Figura 14. Interpolación de Pulsos por Doble Cronometría.

El equipo que hace la interpolación de pulsos por doble cronometría debe tener tres (3) contadores de pulsos (N_m , T_1 , T_2) controlados por los detectores del probador y un generador de alta frecuencia.

El objeto final de tener pulsos interpolados (N_i) es que la discriminación total sea igual o mejor que 1/10.000. Para esto, la discriminación de los intervalos de tiempo T_1 y T_2 debe ser mejor que $\pm 0,01\%$ y por tanto la frecuencia del reloj usado para medir los intervalos T_1 y T_2 debe ser lo suficientemente alta para que T_1 y T_2 puedan acumular como mínimo 20.000 pulsos de reloj durante una pasada de prueba.

T_1 es el intervalo de tiempo transcurrido desde que se detecta el primer pulso después de activarse el primer detector, hasta que se detecta el primer pulso después de activarse el segundo detector.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

T_2 es el intervalo de tiempo transcurrido desde que se activa el primer detector hasta que se activa el segundo detector.

Los Pulsos Interpolados se definen según la siguiente fórmula:

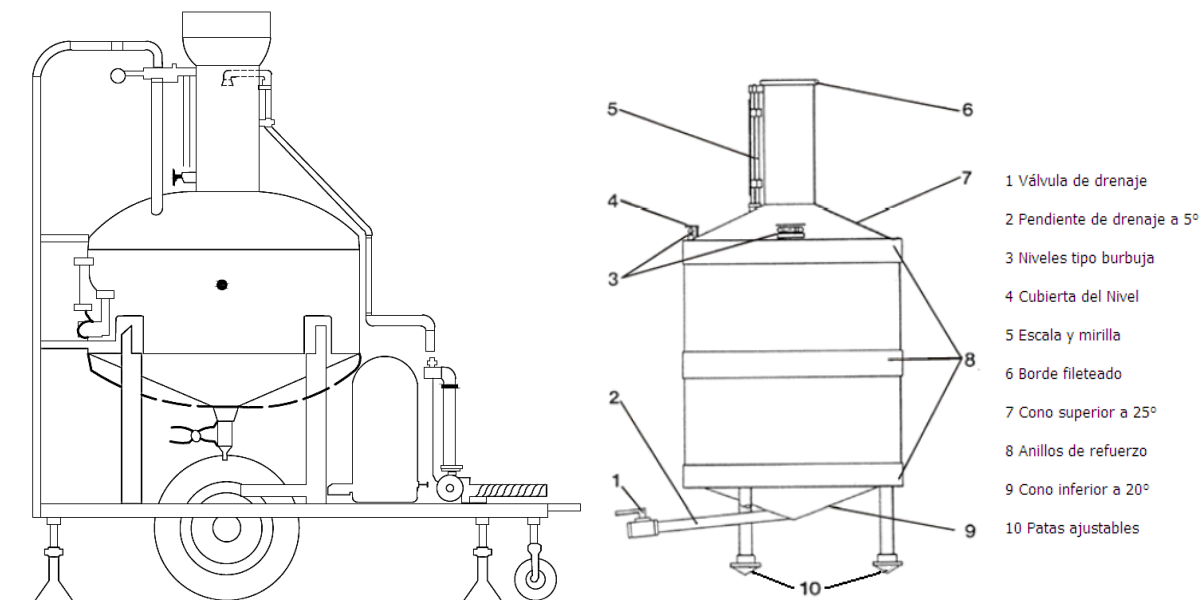
$$N_1 = N_m \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Dónde:

- N_1 = Pulsos Interpolados.
- N_m = Pulsos leídos Medidor.
- T_1 = Tiempo Pulso-Pulso.
- T_2 = Tiempo Detector-Detector.

7.3. PROBADORES TIPO TANQUE

Los tanques probadores son recipientes volumétricos, los cuales pueden ser abiertos (atmosféricos) o cerrados (presurizados), estacionarios o portátiles, y que tienen un cuello de sección cilíndrica reducida en la parte superior, con una mirilla de vidrio y escala graduada, y una válvula de drenaje en su parte más inferior. También pueden tener un cuello de sección cilíndrica reducida en la parte inferior con su respectiva mirilla de vidrio y escala graduada. Ver Figura 15. Como referencia consultar el API MPMS 4.4.




Fuente: API MPMS 4.4 Fig. 5

Fuente: Meter Engineers Inc.

Figura 15. Tanques Probadores.

En un tanque probador, el volumen base, es el volumen contenido del tanque entre el cero de la escala del visor superior y de la del inferior (si lo hay) o el sello aguas arriba de la válvula de drenaje.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Los tanques probadores no son de flujo continuo y su operación es del tipo arranque/parada de flujo. Se usan para la calibración de medidores volumétricos en sistemas de medición donde:

- Las condiciones de proceso no permiten tener instalado un probador de flujo continuo.
- La relación costo beneficio de calibrar medidores no justifica tener un probador de flujo continuo (Ej. Llenaderos y/o descargaderos de carrotanques).

Los tanques probadores son adecuados para calibración de productos limpios y de baja viscosidad. No son recomendados para productos muy viscosos ya que estos se adhieren a las paredes del tanque alterando el volumen certificado y produciendo inexactitudes.

El diseño del tanque debe permitir que se drene totalmente su contenido sin que queden bolsas de producto atrapadas. Los cambios en la pendiente de la sección cilíndrica hacia los cuellos superiores y/o inferiores deben ser graduales para evitar que burbujas de aire o gas queden atrapadas y a su vez permitir un drenado rápido y continuo.

El diseño, forma y materiales de construcción del tanque probador deben ser lo suficientemente rígidos para prevenir distorsiones o deformaciones que modifiquen la geometría original del tanque y que por ende se altere el volumen certificado.

Las escalas normalmente están calibradas en pulgadas cúbicas pero pueden estar calibradas en cualquier otro tipo de unidades.


Para tomar correctamente las lecturas de nivel en las escalas de los visores es necesario que el tanque probador esté perfectamente nivelado. Por tanto, los tanques deben tener como mínimo dos medidores de nivel tipo burbuja separados entre sí 90° e instalados sobre el mismo plano horizontal a una altura tal que permita una fácil y clara visualización (ver Figura 16).

Cada una de las patas que soportan el tanque debe ser ajustable en altura para poder obtener la nivelación correcta.



Figura 16. Nivel Tipo Burbuja.

Para garantizar la integridad volumétrica, las válvulas, visores, escalas, niveles y todo aquello que se pueda ajustar debe tener instalados precintos de seguridad debidamente numerados y registrados en el certificado de calibración del mismo.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES	
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

Funcionan por el principio del drenado del líquido, es decir, antes de ser usado, el tanque probador debe llenarse hasta su marca de cero y luego desocuparse dejando el tiempo de drenado especificado en su certificado de calibración (típicamente, este tiempo es de 10 segundos para volúmenes menores o iguales a 10 galones y de 30 segundos para volúmenes mayores a 10 galones).

La capacidad del tanque probador no debe ser inferior al volumen descargado a través del medidor bajo prueba en un minuto a la rata de flujo normal. Se prefiere que la capacidad del tanque sea de 1,5 veces el volumen descargado en un minuto.

El diámetro interno de los cuellos debe ser tal que la más pequeña graduación sobre la escala no represente más del 0,02% del volumen nominal del tanque.

El mínimo diámetro interno de los cuellos no debe ser inferior a 10 centímetros, para poder introducir termómetros y hacer la limpieza de las paredes internas del tanque.

El diámetro interior de los visores de vidrio no debe ser menor a 16 milímetros. Se prefieren diámetros superiores.


El rango de la escala y del visor de vidrio en el cuello superior debe ser como mínimo el 1,0% del volumen nominal del tanque probador. El rango de la escala y del visor de vidrio en el cuello inferior debe ser como mínimo el 0,5% del volumen nominal del tanque probador.

Si el medidor a calibrar es de alta rata de flujo, entonces se requieren escalas y visores con mayor rango, para dar el tiempo necesario para manipular las válvulas de arranque y parada. No se recomienda tener escalas y visores con una longitud mayor a 60 centímetros.

La Tabla 7 muestra los tamaños comerciales para tanques probadores. El tamaño de este tipo de tanques probadores generalmente es menor o igual a 1.500 galones.

Tabla 7. Tamaños comerciales de Tanques Probadores

TAMAÑO NOMINAL EN GALONES	MÍNIMO NUMERO DE PULGADAS CÚBICAS ARRIBA Y ABAJO DEL CERO	VALOR DE LAS DIVISIONES (GRADUACIONES) EN Pulg.³
1	15	1
5	15	1
10	30	1
25	60	2
50	120	2
100	250	5
200	500	10
500	1250	25
1000	2500	25
1500	3500	25

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

No son recomendados para la calibración de medidores de gran caudal ya que el volumen del tanque probador tiende a ser muy grande y por tanto poco práctico.

Las calibraciones de estos tanques deben ser realizadas con agua como líquido de calibración y deben venir con su correspondiente certificado de calibración; este tiene una validez de:

- Cinco (5) años si se utilizan para calibración de medidores.
- Tres (3) años si se utilizan para calibración de probadores.

Se utiliza el agua como líquido de calibración, debido a sus propiedades de bajo coeficiente de expansión térmica y alta capacidad calorífica.

En caso que los probadores volumétricos se encuentren calibrados con una temperatura base diferente a 60°F, se debe utilizar como volumen base de la calibración, el volumen equivalente a 60 °F calculado con base en el valor del volumen certificado y la diferencia de temperaturas base.

7.4. PROBADORES TIPO MEDIDOR MAESTRO

Un medidor maestro es un medidor que ha sido seleccionado para servir como un equipo estándar de referencia para calibrar otros medidores. Debe ser mantenido y operado como cualquier otro estándar o patrón de referencia. Ver el API MPMS Capítulo 4.5.

El medidor maestro y el medidor bajo prueba deben ser conectados en serie y lo más cerca posible. El medidor maestro debe instalarse aguas abajo del medidor bajo prueba y no debe haber ningún otro equipo entre ellos (Filtros, separadores, mezcladores, etc.).

Cada medidor debe tener un contador o registrador de volumen. Estos deben estar conectados entre sí de tal forma que arranquen y paren de contar en forma simultánea y sincronizada. Además deben poderse inicializar a cero al mismo tiempo.

La calibración se puede hacer por el método de flujo continuo o por el método de arranque y parada de flujo.


Para el método de flujo continuo se debe dejar fluir suficiente producto para que la temperatura, presión, densidad, viscosidad y rata de flujo se estabilicen antes de empezar la calibración.

Todas las válvulas que puedan desviar el flujo a través del medidor bajo prueba y del medidor maestro deben tener mecanismos para verificar la integridad del sello.

Tanto el medidor maestro como el de prueba, no deben tener ningún tipo de compensaciones mecánicas por temperatura o densidad y sus volúmenes medidos deben registrarse sin ningún tipo de correcciones y/o compensaciones.

La calibración se realiza por comparación entre el volumen del Medidor Maestro y el volumen del medidor bajo prueba, ambos a condiciones estándar de temperatura y presión.

La calibración con medidor maestro también debe cumplir con una discriminación de 1 en 10.000 en unidades de conteo (volumen o masa). La tabla 8 muestra la relación entre la resolución del

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013

incremento de los registradores y la cantidad de volumen o masa que se debe registrar por cada corrida de prueba.

Tabla 8. Incremento Versus Registro de Conteo.

RESOLUCIÓN DEL INCREMENTO DE REGISTRO (UNIDAD DE CONTEO)	CANTIDAD MÍNIMA DE CONTEO POR CORRIDA (UNIDAD DE CONTEO)
1	10.000
0,1	1.000
0,01	100
0,001	10

Fuente: API MPMS 4.5 Sec. 7.1.

Si el medidor maestro está montado sobre una plataforma portátil, esta debe tener las protecciones adecuadas para proteger el medidor contra daños y/o desajustes.


Después de su uso el medidor maestro debe llenarse con un líquido lubricante que lo proteja de la corrosión.

Un medidor se considera calibrado de forma directa cuando es calibrado por un Probador de Desplazamiento Mecánico o por un Tanque Probador, los cuales deben haber sido calibrados previamente por el método del drenado de agua.

Un medidor se considera calibrado de forma indirecta cuando es calibrado por un Medidor Maestro, el cual debe haber sido calibrado previamente en forma directa.

Se deben tener en cuenta las siguientes condiciones básicas para utilizar un medidor maestro:

- a) El medidor maestro debe ser calibrado en forma directa.
- b) El medidor maestro debe usarse con la misma orientación (horizontal/vertical, giro de bridas) y sentido de flujo a la cual fue calibrado.
- c) Se debe mantener en todo momento la adecuada contrapresión para evitar vaporizaciones del producto y/o cavitación.
- d) Antes de una calibración, el medidor maestro y el medidor bajo prueba deben estar en operación a la rata de flujo deseada por un tiempo suficiente para que se establezcan todas las condiciones de operación.
- e) El volumen que pasa por el medidor bajo prueba durante una calibración debe ser igual o mayor al volumen que fue requerido para calibrar el medidor maestro y determinar su MMF (Master Meter Factor).
- f) Si un medidor maestro va a manejar múltiples productos, se deberá obtener, un único MMF o una curva de MMF's, por cada producto a manejar para obtener el nivel de incertidumbre requerido.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013	Versión: 1

- g) Los MMF's del medidor maestro deben cumplir con una incertidumbre mejor o igual a $\pm 0.029\%$ con un nivel de confianza del 95%, la cual se obtiene con tres corridas consecutivas con una repetibilidad de 0,02% (ver Tabla 9). Se puede también cambiar el número de corridas y de repetibilidad cumplir con la incertidumbre correspondiente al nivel de jerarquía.

Tabla 9. Incertidumbre Aleatoria del MF del Medidor Maestro

NO. CORRIDAS	REPETIBILIDAD (%)	INCERTIDUMBRE PROMEDIO CON NIVEL DE CONFIANZA DEL 95%
3	0,02	$\pm 0,029\%$
4	0,03	$\pm 0,023\%$
5	0,05	$\pm 0,027\%$

Fuente: API MPMS 4.5 Tabla 1.

- h) El medidor maestro debe ser calibrado dentro del rango lineal de rata de flujo.
- i) El medidor maestro debe ser usado solamente dentro de su rango de flujo lineal al cual fue calibrado.

La calibración por medidor maestro tiene el nivel más alto de incertidumbre de todos los demás métodos de calibración de medidores de flujo. Algunos de los factores que contribuyen a aumentar el nivel de incertidumbre (API MPMS 4.8.), son:

- a) Las diferencias entre el líquido (viscosidad y densidad) usado para calibrar el medidor maestro y el líquido actual siendo medido por el medidor maestro durante la calibración del medidor bajo prueba.
- b) Las diferencias entre las temperaturas, presiones, ratas de flujo y demás condiciones operacionales usadas para calibrar el medidor maestro y aquellas condiciones a las cuales va a ser sometido el medidor maestro durante la calibración del medidor bajo prueba.
- c) La frecuencia de calibración del medidor maestro para verificar su estabilidad, linealidad y repetibilidad, o si alguna ha variado.

El API MPMS Capítulo 4.5 contempla solo a las Turbinas y a los medidores de Desplazamiento Positivo como medidores para ser usados como Medidores Maestros. Sin embargo desde el punto de vista práctico, cualquier medidor de flujo de cualquier tecnología que haya demostrado tener una buena estabilidad, linealidad, repetibilidad y cumplir con todos los requisitos anteriores, puede servir como medidor maestro. La figura 17 muestra un medidor de desplazamiento positivo usado como un medidor maestro.


	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 4 - SISTEMAS PROBADORES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-004	Elaborado 19/07/2013



Figura 17. Medidor Maestro Tipo Desplazamiento Positivo.

7.5. DISEÑO DE PROBADORES

Para mayor información respecto al diseño de probadores, referirse al API MPMS Capítulo 4 en sus secciones pertinentes.

8. CONTINGENCIAS

No aplica.

9. REGISTROS

No aplica.

10. BIBLIOGRAFÍA

No aplica.

11. ANEXOS

No aplica.

Para mayor información sobre este documento dirigirse a:

Líder Corporativo de Normas y Estándares: Reynaldo Prada Graterón – NormasyEstandares@ecopetrol.com.co
 Teléfono: ++ 57 – 1 – 2344473 – 2344871 South América
 Dependencia: VIN