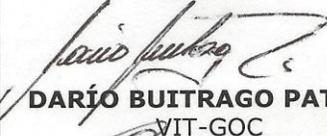
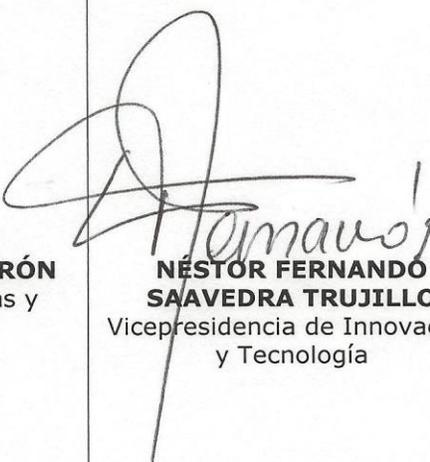


	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013

RELACIÓN DE VERSIONES

VERSIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA
1	Emisión del documento	21/06/2013

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
<p style="text-align: right; margin-right: 50px;">E0329894</p>  MARIO ALBERTO GRANADA CAÑAS VSM-GPS		
 DARÍO BUITRAGO PATIÑO VIT-GOC		
 ELKIN MAURICIO CLARO MARTÍNEZ VRP-GRB	 REYNALDO PRADA GRATERÓN Líder Corporativo de Normas y Estándares	 NÉSTOR FERNANDO SAAVEDRA TRUJILLO Vicepresidencia de Innovación y Tecnología
<p style="margin-left: 20px;">p/p</p>  DIEGO ALEJANDRO SILVA RINCÓN VRP-GRC		
 ANGELA PATRICIA ÁLVAREZ VPR		
Grupo Extendido Especialidad Medición, Balances y Contabilización		

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 BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. OBJETO	4
2. ALCANCE	4
3. GLOSARIO	4
4. DOCUMENTOS DEROGADOS	4
5. REFERENCIAS NORMATIVAS	4
6. CONDICIONES GENERALES	6
7. DESARROLLO	7
7.1. ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DEL MEDIDOR	7
7.1.1. Válvulas de bloqueo	7
7.1.2. Filtros	8
7.1.3. Eliminadores de aire	8
7.1.4. Válvulas de alivio térmico	8
7.1.5. Válvulas de drenaje	8
7.1.6. Enderezadores y acondicionadores de flujo	9
7.1.7. Sensores de presión	9
7.1.8. Sensores de temperatura	9
7.1.9. Transmisor de pulsos	9
7.1.10. Válvulas de control de flujo (FV)	9
7.1.11. Sistema de contrapresión (back pressure)	10
7.1.12. Válvulas set-stop	10
7.1.13. Válvulas cheque	10
7.2. ARREGLO BÁSICO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN	10
7.3. MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO (MDP)	11
7.3.1. Ventajas y desventajas	12
7.3.2. Medidor tipo álabes deslizantes	12
7.3.2.1. Principio de funcionamiento	13
7.3.2.2. Instalación, puesta en servicio y mantenimiento del medidor	14
7.3.3. Medidor tipo rueda oval	15
7.3.4. Medidor tipo bi-rotor	16
7.4. MEDIDORES DE INFERENCIA	17

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

7.4.1. Medidor de turbina	17
7.4.1.1. Factores que afectan el desempeño de una turbina	18
7.4.1.2. Medidores tipo turbina convencional	20
7.4.1.2.1. Requerimientos técnicos	21
7.4.1.3. Medidores tipo turbina helicoidal.....	22
7.4.2. Medidor ultrasónico tipo tiempo de tránsito	23
7.4.2.1. Principio de operación	24
7.4.2.2. Ventajas y desventajas	26
7.4.3. Medidores másicos tipo Coriolis.....	26
7.4.3.1. Descripción	26
7.4.3.2. Principio de operación	27
7.4.3.3. Ventajas y desventajas	28
7.4.3.4. Condiciones de operación y mantenimiento	29
7.5. SELECCIÓN DE MEDIDORES	29
8. CONTINGENCIAS.....	33
9. REGISTROS.....	33
10. BIBLIOGRAFÍA	33
11. ANEXOS	33

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

1. OBJETO

Establecer una guía para la especificación, instalación y operación de los brazos de medición diseñados para medir dinámicamente productos de manera que pueda alcanzarse la exactitud, vida útil, seguridad, confiabilidad y calidad de la medición requerida de acuerdo con las mejores prácticas de industria en las operaciones de transferencia de custodia.

2. ALCANCE

Este capítulo cubre detalles generales de la instalación y operación de los medidores de flujo y sus accesorios, sin detallar los arreglos necesarios para cumplir los requerimientos de aplicaciones específicas. Los detalles comunes a todos los sistemas de medición se encuentran contenidos en el Estándar de Ingeniería para la Medición Dinámica de Cantidad y Calidad de Hidrocarburos Líquidos ECP-VST-P-INS-ET-018.

3. GLOSARIO

Para una mejor comprensión de los términos utilizados en este capítulo consulte el Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles ECP-VSM-M-001, Capítulo 1 - Condiciones Generales y Vocabulario, numeral 2 – Glosario.

4. DOCUMENTOS DEROGADOS

- ECP- VSM-M-001-05 Manual de Medición de Hidrocarburos Capítulo 5 Medición Dinámica.

5. REFERENCIAS NORMATIVAS

5.1. NORMATIVA INTERNA

CÓDIGO CNE	CÓDIGO ANTIGUO	TÍTULO
NO APLICA	ECP-VSM-R-001	Reglamento para la Gestión de la Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles.
ECP-VIN-P-MBC-FT-020	ECP-PMC-F-029	Formato para Calibración de Probador Unidireccional de Pequeño Volumen de Pistón por el Método del Drenado de Agua Volumétrico (Water Draw).
ECP-VIN-P-MBC-FT-021	ECP-PMC-F-030	Formato para Calibración de Probador Bidireccional por el Método del Drenado de Agua Volumétrico (Water Draw).
ECP-VIN-P-MBC-MT-001	ECP-VSM-M-001	Manual de Medición de Hidrocarburos (MMH) Capítulo 1 Condiciones Generales y Vocabulario.
ECP-VIN-P-MBC-MT-004	ECP-VSM-M-001-04	Manual de Medición de Hidrocarburos (MMH) Capítulo 4 Sistemas Probadores.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

CÓDIGO CNE	CÓDIGO ANTIGUO	TÍTULO
ECP-VIN-P-MBC-MT-006	ECP-VSM-M-001-06	Manual de Medición de Hidrocarburos (MMH) Capítulo 6 Sistemas de Medición Dinámicos en Oleoductos y Poliductos.
ECP-VIN-P-MBC-MT-007	ECP-VSM-M-001-07	Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles Capítulo 7 Medición de Temperatura.
ECP-VIN-P-MBC-MT-008	ECP-VSM-M-001-08	Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles Capítulo 8 – Muestreo Manual y Automático.
ECP-VIN-P-MBC-MT-021	ECP-VSM-M-001-21	Manual de Medición de Hidrocarburos (MMH) Capítulo 21 Sistemas de Medición Electrónica.
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-VST-P-INS-ET-018	NO APLICA	Estándar de Ingeniería para la Medición Dinámica de Cantidad y Calidad de Hidrocarburos Líquidos.

5.2. NORMATIVA EXTERNA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

MPMS 5.1	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5—Metering Section 1—General Considerations for Measurement by Meters.
MPMS 5.2	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5—Metering Section 2—Measurement of Liquid Hydrocarbons by Displacement Meters.
MPMS 5.3	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5 - Metering Section 3 - Measurement of Liquid Hydrocarbons by Turbine Meters.
MPMS 5.4	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5—Metering Section 4—Accessory Equipment for Liquid Meters.
MPMS 5.5	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5 - Metering Section 5 - Fidelity and Security of Flow Measurement Pulsed-Data Transmission Systems.
MPMS 5.6	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5—Metering Section 6—Measurement of Liquid Hydrocarbons by Coriolis Meters.
MPMS 5.8	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5.8 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Ultrasonic Flow Meters.
MPMS 6.1	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 6 - Metering Assemblies Section 1 - Lease Automatic Custody Transfer (LACT) Systems.
MPMS 6.6	Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 6 - Metering Assemblies Section 6 - Pipeline Metering Systems.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

MPMS 6.7

Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 6 - Metering Assemblies Section 7 - Metering Viscous Hydrocarbons.

6. CONDICIONES GENERALES

El campo de aplicación de este capítulo es la medición dinámica en operaciones de transferencia de custodia de hidrocarburos, biocombustibles, petroquímicos o productos de la Cadena de Suministro de ECOPETROL S.A., que se encuentran en estado líquido a las diferentes condiciones de temperatura y presión que prevalecen dentro del medidor durante la operación. También incluye la medición dinámica de productos que una vez comprimidos, calentados y/o enfriados se transforman en líquidos y permanecen en este estado mediante el mantenimiento de condiciones apropiadas de presión y temperatura operacionales. En consecuencia, este capítulo no aplica para la medición dinámica de fluidos en dos o más fases (medición multifásica).

Algunas de las ventajas de la medición dinámica de productos son las siguientes:

- 1) La medición dinámica de los fluidos incrementa la disponibilidad operativa de los tanques de almacenamiento puesto que no es necesario dedicar un tanque de forma exclusiva a la operación de recibo o despacho.
- 2) La medición dinámica permite calcular, indicar y visualizar la rata de flujo (volumétrica o másica) en tiempo real y el volumen (indicado, bruto o estándar).
- 3) La medición dinámica permite realizar en tiempo real el control de mezclas de productos en línea o la división precisa de una corriente en múltiples líneas.
- 4) El medidor de flujo puede verificarse en línea utilizando un probador certificado.
- 5) La medición dinámica permite obtener en tiempo real los valores puntuales y promedios ponderados por volumen de las variables de proceso, tales como: flujo, volumen, densidad, temperatura, presión.
- 6) La medición dinámica puede controlar en tiempo real por medio de la rata de flujo un toma muestras automático.

En ECOPETROL S.A, los sistemas de medición dinámica de hidrocarburos líquidos y biocombustibles deben:

- Cumplir con lo establecido en el documento Estándar de Ingeniería para la medición dinámica de cantidad y calidad de hidrocarburos líquidos ECP-VST-P-INS-ET-018 de ECOPETROL S.A.
- Operar dentro del rango de operación establecido.
- Se les debe realizar mantenimiento preventivo periódico con el fin de verificar su exactitud.
- Disponer de las facilidades para conectar un probador para realizar los procesos de verificación.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

- Tener un probador dedicado, compartido o portátil. El probador puede ser tipo desplazamiento mecánico, pequeño volumen ("compacto") o medidor maestro ("Master Meter").
- Tener la instrumentación necesaria para la determinación dinámica de la temperatura, presión y densidad del fluido que se mide.
- Poseer una conexión para toma de muestras manuales, la cual debe estar localizada en un punto donde se garantice que el fluido sea homogéneo y representativo. Se debe tener especial cuidado en la selección de los elementos que se instalarán para obtener una muestra homogénea (mezcladores energizados, estáticos o los accesorios de tubería).
- Tener (según el tipo de aplicación) un toma-muestras automático en línea, instalado con las mismas condiciones del punto anterior (MMH Capítulo 8).
- Los medidores usados en sistemas de medición dinámica para transferencia de custodia deben tener linealidades mejores o iguales que $\pm 0,15\%$ para medidores de 2" de diámetro o mayores; y de $\pm 0,25\%$ para medidores menores a 2" de diámetro.

7. DESARROLLO

Las diferentes tecnologías de los medidores de flujo aprobadas para transferencia de custodia de líquidos se relacionan y clasifican a continuación:

- Medidores directos:
 - Medidores de desplazamiento positivo (MDP): los más usados son los del tipo álabes deslizantes, el bi-rotor y el oval.
- Medidores de inferencia:
 - Medidores tipo turbina convencional.
 - Medidores tipo turbina helicoidal.
 - Medidores tipo Coriolis.
 - Medidores tipo ultrasónico de tiempo de tránsito.

7.1. ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DEL MEDIDOR

Hacen parte de estos dispositivos los enderezadores y acondicionadores de flujo, las válvulas de bloqueo, los eliminadores de aire, válvulas de alivio térmico, válvulas de control de flujo y de drenaje, sensores de presión y temperatura, transmisores de pulsos y filtros.

7.1.1. Válvulas de bloqueo

Son aquellas válvulas diseñadas para permitir o bloquear el paso del flujo, es decir, trabajan totalmente abiertas o totalmente cerradas. Pueden ser de paso completo o paso reducido. Cuando se requiere garantizar la estanqueidad de la válvula se deben usar válvulas de doble aislamiento y purga (doble bloqueo y purga).

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

Un brazo de medición debe tener una válvula de bloqueo a la entrada y otra a la salida, con el fin de aislarlo del proceso o hacer mantenimiento. Dependiendo de la configuración del sistema de medición, al menos una válvula del brazo debe ser de doble aislamiento y purga.

7.1.2. Filtros

También conocidos como coladores (“strainers”). Dependiendo del tipo de tecnología del medidor y las condiciones del fluido medido su uso puede ser opcional. Se instala aguas arriba del medidor y tiene como objeto impedir que material particulado llegue hasta el medidor y cause daños en las partes móviles e internas del mismo y en las válvulas de control localizadas aguas abajo de este. Deben tener instalados indicadores y/o transmisores de presión diferencial y estática, válvulas de venteo y drenaje y tapa de apertura rápida para tamaños iguales o superiores a 6” de diámetro.

7.1.3. Eliminadores de aire

La presencia de aire o vapor en la corriente de un líquido que está siendo medido, causará medidas inexactas y dentro de ciertas condiciones daños al medidor. Sí existe la posibilidad de tener presencia de aire, gases o vapores en la corriente que será medida, se debe instalar un des-aireador o eliminador de aire aguas arriba del medidor.

Si en el sistema de transporte se prevén grandes cantidades de aire o vapor, se debe instalar un sistema independiente de eliminadores de aire, aguas arriba del sistema de medición.

7.1.4. Válvulas de alivio térmico

Válvula que protege los equipos e instrumentos del brazo de medición de la sobrepresión resultante de la expansión térmica del producto. Preferiblemente se deben instalar aguas arriba del medidor de flujo. El punto de ajuste (set point) debe ser menor que la máxima presión de trabajo de la tubería pero mayor que la máxima presión de operación.

7.1.5. Válvulas de drenaje

Para facilitar las labores de mantenimiento se debe instalar una válvula de drenaje en el punto más bajo de cada brazo de medición; a estas válvulas se le deben instalar precintos de seguridad, para prevenir su manipulación no autorizada.

Si el brazo de medición no tiene instalado filtro: cuando el sistema de medición es de entrega, la válvula debe estar localizada aguas arriba del medidor; cuando el sistema de medición es de recibo, la válvula debe localizarse aguas abajo del medidor. Lo anterior con el fin de no afectar las cantidades transferidas en custodia, cuando se hace el drenaje del brazo de medición.

Si el brazo de medición tiene un filtro, la válvula de drenaje de éste es suficiente para drenar el brazo.

Cuando el sistema de medición es de recibo, se debe tener en cuenta las cantidades drenadas como parte de la entrega. Sí la válvula de drenaje se encuentra ubicada entre el medidor de flujo y el probador la válvula deberá ser de doble bloqueo y purga.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

7.1.6. Enderezadores y acondicionadores de flujo

Son elementos de tubería que se instalan aguas arriba de algunos tipos de medidores con el fin de acondicionar hidráulicamente el flujo antes que pase por éste. Para cada tipo de medidor, se debe seleccionar el tipo de enderezador y/o el acondicionador recomendado por el fabricante. Los dispositivos que reducen el efecto remolino y remueven los perfiles de flujo distorsionados se clasifican como acondicionadores de flujo. Los dispositivos diseñados para reducir o remover el efecto remolino son los conocidos como enderezadores de flujo.

7.1.7. Sensores de presión

Cada brazo de medición debe poseer un transmisor de presión y un manómetro. El rango de operación debe estar de acuerdo con la presión máxima de diseño del sistema de medición (ANSI Clase#).

7.1.8. Sensores de temperatura

Cada brazo de medición debe poseer un sensor de temperatura, transmisor de temperatura (sí se requiere), un termopozo para instalar sensor de verificación y un termómetro. El rango de operación debe estar de acuerdo con las temperaturas mínimas y máximas del proceso.

Para una mayor información refiérase al MMH Capítulo 7.

7.1.9. Transmisor de pulsos

Es un dispositivo que permite determinar el movimiento mecánico de un medidor con el fin de generar pulsos eléctricos proporcionales a la cantidad medida por el medidor de flujo, con el propósito de transmitir esta señal a largas distancias sin que se introduzca ruido eléctrico indeseable que pueda distorsionar la información transmitida. Normalmente esta señal tiene una amplitud de 12 a 24 Vdc.

Básicamente existen tres tipos de dispositivos transmisores de pulsos:

- a. Bobinas de inducción magnética (pick up), con preamplificador electrónico.
- b. Sensor de inducción por efecto Hall.
- c. Sensor óptico.

7.1.10. Válvulas de control de flujo (FV)

Cumplen las siguientes funciones:

- Permitir el trabajo de varios medidores en paralelo simultáneamente.
- Protección al medidor por condición de sobre-flujo: sí se excede el máximo flujo configurado debe empezar a cerrarse.
- Permitir compensar el efecto del probador en línea en la dinámica del sistema y calibrar los medidores a diferentes ratas de flujo.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

7.1.11. Sistema de contrapresión (back pressure)

Si por alguna condición operativa existe el riesgo que la presión del líquido disminuya por debajo de su presión de vapor de equilibrio deberá instalarse este sistema aguas abajo del sistema de medición. Su objeto es prevenir la vaporización del producto que genera el fenómeno de cavitación, el cual puede afectar las tuberías y los medidores.

7.1.12. Válvulas set-stop

Son válvulas de tipo electro-hidráulico, cuya función es controlar el flujo por pasos. Se usan en sistemas de entrega a barcazas y carrotanques, para que al inicio del llenado la rata de flujo aumente en una rampa ascendente hasta obtener el máximo caudal y luego, al acercarse la finalización del bache, se empieza a cerrar gradualmente en una rampa descendente hasta cerrarse por completo.

También se usan como protección de baja presión de línea, si la presión cae por debajo de un valor predeterminado de cierre, la válvula se cierra completamente, abriéndose con un valor predeterminado de apertura.

7.1.13. Válvulas cheque

Este tipo de válvulas permite el flujo únicamente en un sentido. Se utilizan para prevenir que el flujo se devuelva a través del sistema de medición, ocasionando un doble conteo volumétrico.

7.2. ARREGLO BÁSICO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN

El arreglo y la selección del número de brazos que conforman un sistema de medición dependen de la tecnología y tamaño del medidor, de la máxima rata de flujo, viscosidad del producto a manejar y de los requerimientos de incertidumbre del sistema. En el diagrama típico indicado en la Figura 1, se presenta a manera de ejemplo un sistema de medición de tres (3) brazos, con la posibilidad de trabajar simultáneamente en paralelo.

Para una mayor información de los sistemas de medición dinámicos consulte el MMH Capítulo 6 Sistemas de medición dinámica en oleoductos y poliductos. Para una descripción detallada de los requerimientos de instalación consulte el documento Estándar de Ingeniería para la medición dinámica de cantidad y calidad de hidrocarburos líquidos de ECOPETROL S.A.

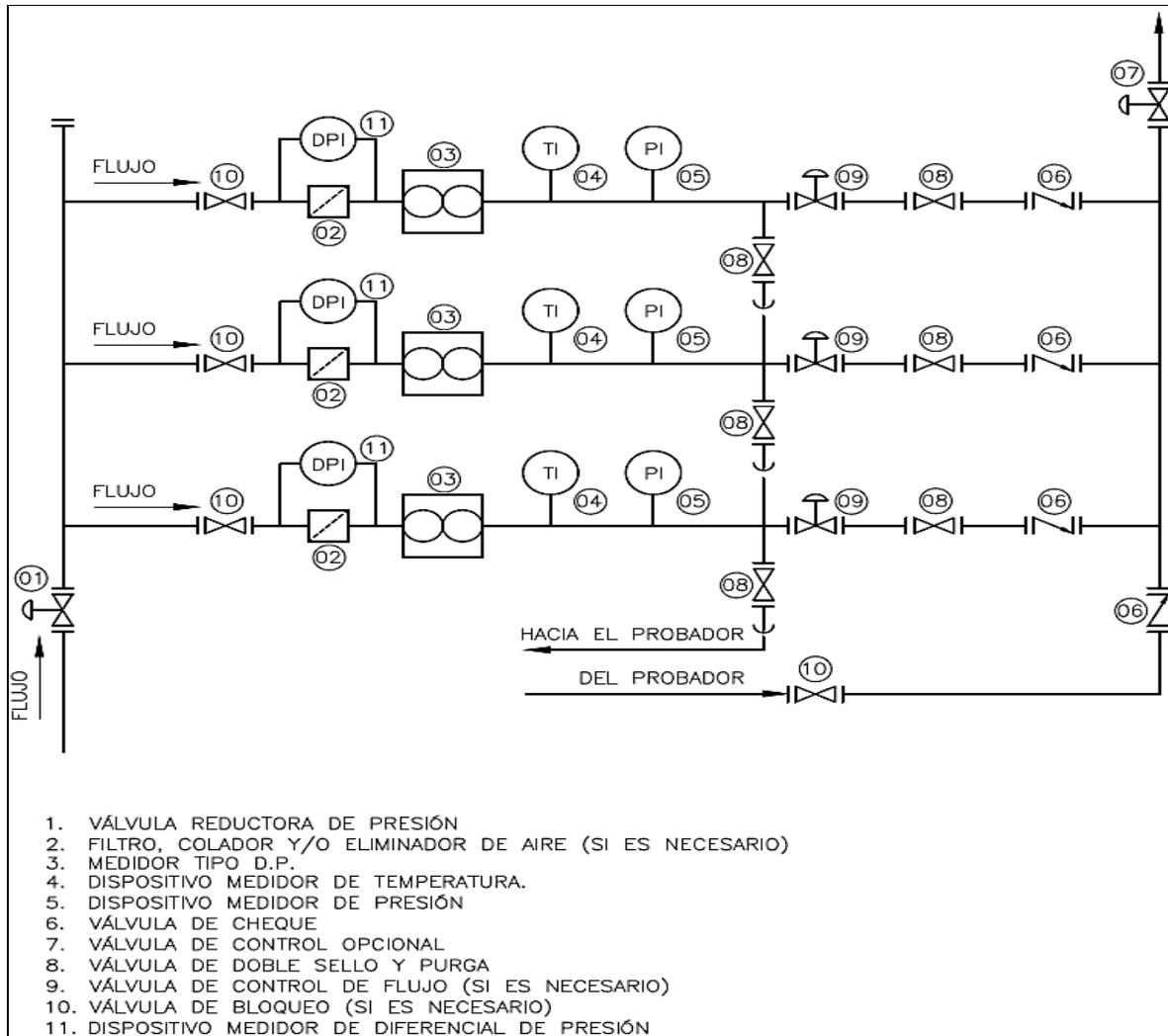


Figura 1. Sistema con Tres Brazos de Medición.

7.3. MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO (MDP)

Son dispositivos de medición de flujo que separan la corriente de flujo en volúmenes precisos medidos individualmente en forma continua. La sumatoria de estos volúmenes individuales produce el flujo total. Por lo anterior, este tipo de medidor mide directamente el flujo volumétrico.

En cada MDP, se pueden destacar tres componentes comunes:

- La cámara de medición, con volumen conocido.
- El rotor, que bajo la acción del flujo, transfiere cíclicamente el líquido a través de la cámara de medición.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

- Un mecanismo indicador o registrador, conectado mecánica u ópticamente al rotor, que cuenta continuamente el líquido desplazado a través de la cámara de medición.

Las cámaras internas de medición se mueven por la diferencia presión entre la entrada y salida del medidor. El número de rotaciones es un indicador del volumen que ha pasado por el medidor.

Para la selección del medidor se deben tener en cuenta las consideraciones consignadas en los manuales técnicos de operación y mantenimiento de cada fabricante.

7.3.1. Ventajas y desventajas

• **Ventajas:**

- Han estado en uso por más de 100 años, por lo que son ampliamente aceptados y confiables.
- Muy buena exactitud (hasta $\pm 0,15\%$ o mejor) y repetibilidad ($\pm 0,02\%$).
- Apropriados para medición de líquidos con alta viscosidad.
- Fácil de probar o verificar.
- Baja caída de presión.
- Capacidad para operar sin suministro de potencia externa.
- Capacidad para registrar volúmenes a ratas de flujo cercanas a cero.
- No requiere acondicionador y enderezador de flujo.

• **Desventajas:**

- Cambios súbitos y significativos en la rata de flujo pueden llegar a dañar el medidor.
- Algunos diseños generan flujo pulsante en la tubería.
- Mayor susceptibilidad a corrosión y erosión.
- Múltiples partes mecánicas.
- Alto stock de repuestos para mantenimiento.
- Costos de inversión altos.
- Susceptibilidad a desbocarse por efecto de vaporización o de aire atrapado en el fluido.
- Reducción severa en el flujo si se atasca el medidor.
- La rata mínima de flujo varía en función de la viscosidad y de las tolerancias internas del medidor.

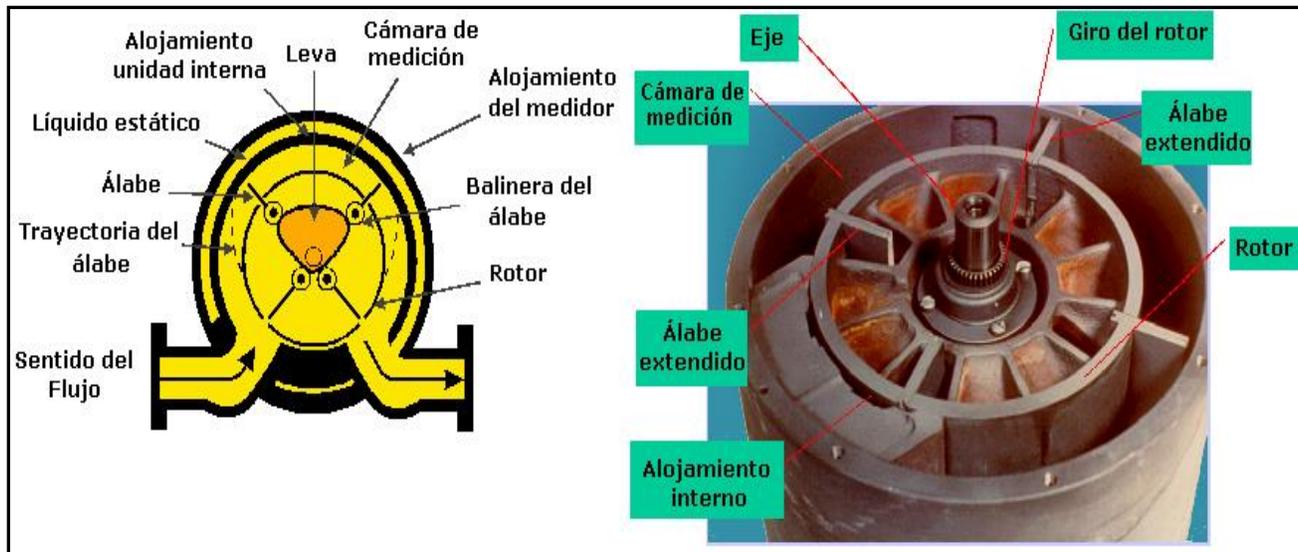
7.3.2. Medidor tipo álabes deslizantes

Es el MDP más utilizado en la industria petrolera para transferencia de custodia del petróleo líquido. Los elementos que conforman un medidor de álabes deslizantes son: la carcasa exterior, la unidad interna de medición y el tren de engranajes.

El alojamiento o carcasa, es básicamente un recipiente de presión con conexiones de entrada y salida. Los materiales de la carcasa exterior típicamente son de acero al carbono, hierro fundido, hierro dúctil, aluminio, bronce, o acero inoxidable. Las funciones de la carcasa son retener el líquido presurizado y alojar el elemento de medición y sus accesorios. Los medidores pueden ser de carcasa simple o doble. En los medidores de carcasa simple, la carcasa exterior sirve tanto como recipiente de presión, como de alojamiento para el elemento de medición (rotor).

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

En los medidores de carcasa doble, la carcasa exterior es únicamente un recipiente de presión. Los medidores pequeños que se fabrican en materiales que no sean acero al carbono normalmente son de carcasa simple. Los medidores mayores a 6" de diámetro casi siempre son de doble carcasa de acero al carbón (ver Figura 2).



Fuente: Basado en Rotary Vane PD Meter (FMC Technologies).

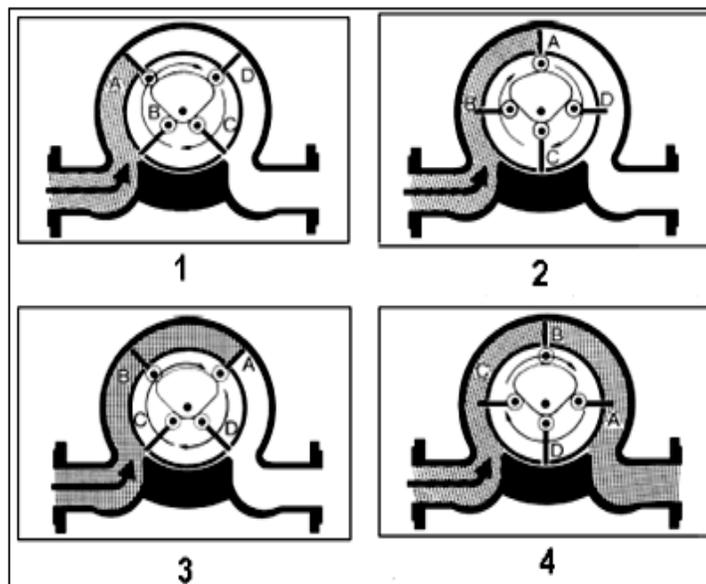
Figura 2. Unidad Interna de un MDP Tipo Álabes Deslizantes con Doble Carcasa (Alojamiento).

- **Unidad interna de medición**, su función es separar el flujo en segmentos discretos para cuantificarlos. La unidad de medición también sirve como motor hidráulico que absorbe la energía que origina el flujo; produce el torque necesario para vencer la fricción interna e impulsar el contador y otros accesorios adicionales que requieren fuerza.
- **Tren de engranajes**, la relación de engranajes del tren se selecciona para convertir un volumen fijo por revolución del elemento de medición a un volumen convencional nominal (barriles, galones, m³) por revolución del eje de entrada al medidor.

7.3.2.1. Principio de funcionamiento

A medida que el líquido fluye a través del medidor, el rotor y los álabes giran alrededor de una leva fija, haciendo que las mismas se muevan hacia afuera. Los movimientos sucesivos de los álabes forman una cámara medidora de un volumen exacto entre los álabes, el rotor, la carcasa y las cubiertas superior e inferior. Una serie continua de estas cámaras cerradas se forma por cada revolución del rotor. Ni los álabes, ni el rotor hacen contacto con las paredes estacionarias de la cámara medidora.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013



Fuente: Rotary Vane PD Meter (FMC Technologies)

Figura 3. Principio de Funcionamiento.

La Figura 3 ilustra una construcción de alojamiento sencillo. En la Figura 3.1, el líquido sin medir (área sombreada) se muestra cuando entra el medidor. El rotor y los álabes giran en el sentido de las agujas del reloj. Los álabes A y D se encuentran totalmente extendidos, formando la cámara de medición. Los álabes B y C están retraídos.

En la Figura 3.2 el rotor y los álabes han efectuado una octava de revolución. El álabes A se encuentra totalmente extendido. El álabes B está parcialmente extendido. El álabes C se ha retraído completamente. El álabes D se encuentra parcialmente retraído.

En la Figura 3.3 el rotor y los álabes han girado un octavo de revolución. El álabes A se encuentra extendido todavía y ahora el álabes B está extendido. Existe ahora un volumen exacto y conocido del líquido en la cámara de medición.

En la Figura 3.4 una octava de revolución más tarde, el líquido medido fluye fuera del medidor. Está a punto de formarse otra cámara de medición entre los álabes C y B. El álabes A se encuentra retraído y el C está empezando a salir. En tres octavos de revolución se han formado dos cámaras de medición y otra está a punto de formarse. Este ciclo continúa repitiéndose mientras fluya el líquido.

Una de las características sobresalientes del medidor es el hecho que el flujo pasa sin perturbaciones durante la medición. No se desperdicia energía agitando innecesariamente el líquido.

7.3.2.2. Instalación, puesta en servicio y mantenimiento del medidor

Es importante seguir las indicaciones del fabricante ya que con ellas se obtiene un óptimo funcionamiento y rendimiento del medidor. A continuación se describen algunas recomendaciones:

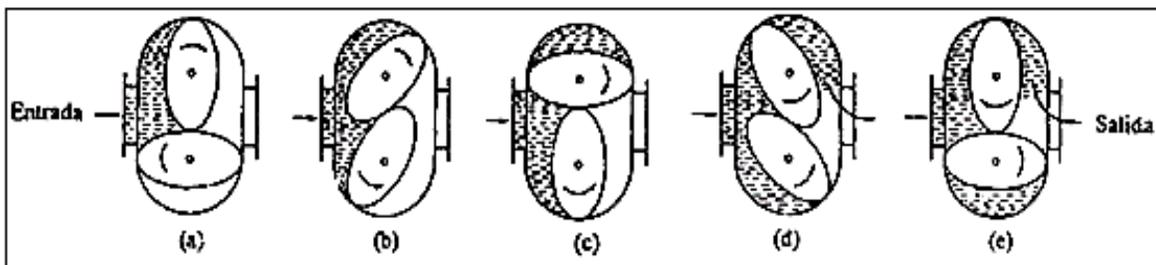
	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

- La instalación debe incluir protección contra las condiciones medio ambientales adversas.
- Con la excepción de las instalaciones verticales, el medidor debe ser montado sobre una base o plataforma adecuada, a fin de que no se apoye en la tubería.
- Instale el medidor de manera que exista un acceso fácil a sus accesorios, permita su mantenimiento y drenaje. Es aconsejable drenar periódicamente el agua y sedimento del mismo.
- La tubería no deberá ejercer ninguna tensión indebida sobre el medidor.
- Proteja el medidor y el sistema contra los efectos de la expansión térmica, mediante la instalación de una válvula de alivio térmico.
- De ser necesario, coloque un eliminador de aire que evite el ingreso de aire o vapor al medidor.
- Antes de poner en marcha el medidor se debe limpiar internamente toda la tubería, con el fin de eliminar completamente el óxido, tierra, residuos de soldadura u otros materiales extraños. Si es necesario, saque el mecanismo interior del medidor a fin de evitar daños al elemento de medición.
- Se debe proteger el medidor usando un filtro-colador con canasta removible y malla recomendada por el fabricante, dependiendo de las características del fluido y del tamaño del medidor.
- No utilice el medidor con agua, ni permita que ésta permanezca dentro del medidor. Lave el medidor con aceite lubricante liviano, si por algún motivo le entra agua al medidor, o si va a ser almacenado o permanecer fuera de servicio.
- A menos que se especifique lo contrario, el flujo a través del medidor es de izquierda a derecha, visto desde el lado de la carcasa donde están las bridas. Es posible modificar la mayoría de los medidores, para que el flujo sea de derecha a izquierda. Pida mayor información al fabricante.
- Se puede ubicar el medidor en cualquiera de las cuatro posiciones que tienen 90° entre sí.
- El contador numérico local (si se requiere) debe ser de números grandes y puede ser instalado en cualquiera de las ocho posiciones, que tienen 45° entre sí.

La exactitud a la linealidad de este tipo de medidores debe ser de $\pm 0,15\%$ o mejor.

7.3.3. Medidor tipo rueda oval

El medidor de rueda oval, figura 4, dispone de dos ruedas ovales que engranan entre sí y tienen un movimiento de giro debido a la presión diferencial creada por el flujo de líquido. La acción del líquido actúa de forma alternativa sobre cada una de las ruedas, dando lugar a un giro suave de un par prácticamente constante. Tanto la cámara de medida como las ruedas están mecanizadas con gran precisión, con el fin de conseguir que el deslizamiento entre ellas se produzca con el mínimo rozamiento, sin que se formen bolsas o espacios muertos y desplazando la misma cantidad de líquido en cada rotación.



Fuente: Basado en FMC Technologies paper TP 0A014.

Figura 4. MDP Tipo Rueda Oval.

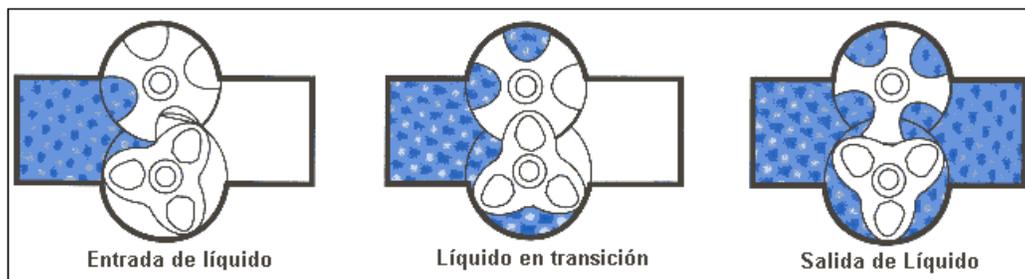
	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013

La medida es prácticamente independiente de variaciones en la densidad y en la viscosidad del líquido.

La precisión es de $\pm 0,50\%$ del caudal total. Los tamaños varían de 1/2" a 3".

7.3.4. Medidor tipo bi-rotor

En la Figura 5 se muestra un medidor tipo bi-rotor el cual consiste en dos rotores sin contacto mecánico entre sí que giran como únicos elementos móviles en la cámara de medida. La relación de giro mutuo se mantiene gracias a un conjunto de engranajes helicoidales totalmente cerrado y sin contacto con el líquido.



Fuente: Basado en FMC Technologies paper TP 0A014.

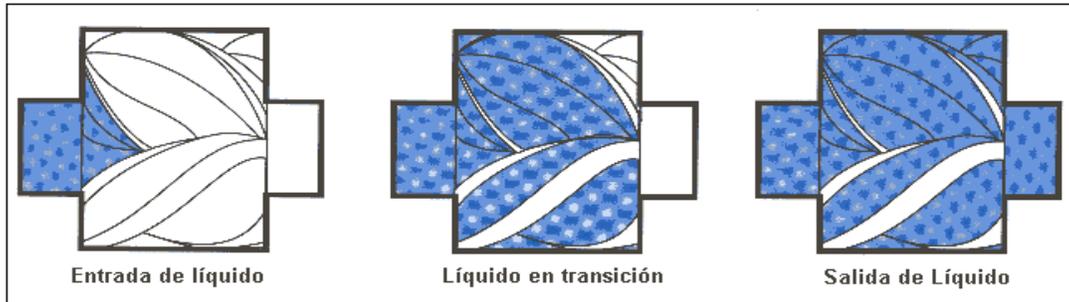
Figura 5. MDP Bi-Rotor Estándar.

Son reversibles, admiten sobre velocidades esporádicas sin recibir daño alguno, no requieren filtros, admiten el paso de partículas extrañas y permiten desmontar la unidad de medida sin desmontar el conjunto completo.

El medidor bi-rotor axial (Figura 6) es idéntico al medidor bi-rotor estándar en sus componentes sin embargo utiliza una unidad de medición montada en paralelo perpendicular al flujo. Esta orientación especial da buen resultado en instalaciones compactas, mejorando la precisión y causando bajas pérdidas de presión. Es ideal para oleoductos de alta capacidad, refinerías, cargas de tanqueros y otras aplicaciones de transferencia de volumen.

Los rotores están equilibrados estática y dinámicamente y se apoyan en rodamientos de bolas de acero inoxidable. Al no existir contacto mecánico entre los rotores la vida útil es larga y el mantenimiento es fácil.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1



Fuente: Basado en FMC Technologies paper TP 0A014

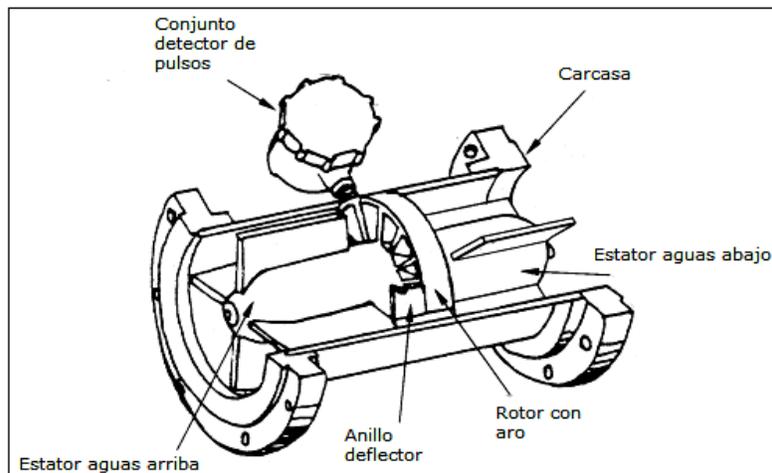
Figura 6. Medidor Bi-Rotor Axial.

7.4. MEDIDORES DE INFERENCIA

Los medidores de inferencia deducen la tasa de flujo mediante la medición de alguna propiedad dinámica de la corriente de flujo. Entre los medidores de inferencia más comunes tenemos: las placas de orificio, medidores másicos Coriolis, medidores tipo vórtex, los medidores ultrasónicos y los medidores tipo turbina. En este documento se tratarán los tipos de medidores de inferencia aprobados por el API MPMS para operaciones de transferencia de custodia, que son: turbina convencional y helicoidal, Coriolis y ultrasónico.

7.4.1. Medidor de turbina

El medidor de turbina deduce la tasa de flujo, midiendo el movimiento rotativo (velocidad angular) de un rotor de álabes, o impulsor que está suspendido en la corriente de flujo, e infiere el volumen con base en la velocidad media del fluido, la cual es directamente proporcional a la velocidad angular de rotación y al área transversal efectiva de paso de flujo en el medidor (Figura 7).



Fuente: Basado en FMC technologies paper TP 0A014

Figura 7. Medidor de Turbina Tipo Convencional.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

Se deben cumplir dos hipótesis básicas para obtener la rata de flujo volumétrico. La exactitud de este medidor se centra en estas dos hipótesis y en la influencia que las diferentes variables de diseño, instalación, y aplicación tienen sobre su validez. El grado hasta el cual estas dos hipótesis básicas sean correctas determina la exactitud del medidor de turbina.

Primera hipótesis: La rata de flujo volumétrico es directamente proporcional a la velocidad promedio del líquido que fluye por la tubería. Es decir:

$$Q = A * V \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:

- Q = Rata de flujo volumétrico.
- V = Velocidad promedio del líquido.
- A = Área transversal efectiva del medidor.

Esta hipótesis es correcta si el área de la sección efectiva de flujo a la altura del punto de detección del medidor permanece constante entre las calibraciones del medidor. El área efectiva de flujo y por consiguiente el factor-K del medidor puede cambiar debido a erosión, corrosión, depósitos, aumento de espesor de la capa límite, cavitación u obstrucciones. De este modo el volumen que se registra cambiará aunque la rata volumétrica de flujo permanezca constante.

Segunda hipótesis: existe una relación constante de la velocidad del rotor y del líquido. La velocidad media de la corriente es proporcional a la velocidad angular del rotor. La velocidad del rotor puede alterarse por:

- Ángulo del álabe.
- Fricción viscosa.
- Fricción de rodamientos.
- Acondicionamiento del flujo.

7.4.1.1. Factores que afectan el desempeño de una turbina

a) Número de Reynolds: es un parámetro adimensional definido por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \text{ (Ecuación 2)}$$

Dónde:

- Re = número de Reynolds (adimensional).
- ρ = densidad.
- v = velocidad promedio del fluido.
- D = diámetro interno de la tubería.
- μ = viscosidad absoluta del fluido.

El número de Reynolds es un indicador de la clase de fuerza, dinámica o viscosa, que está predominando en algún caso particular. Cuando el número de Reynolds es muy alto, el flujo será gobernado casi enteramente por fuerzas dinámicas en el líquido y el flujo será turbulento, pero si el número de Reynolds es muy bajo el flujo será gobernado por fuerzas viscosas y será laminar.

Según el valor del número de Reynolds, el régimen de flujo puede ser:

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

- Flujo laminar: para un número de Reynolds inferior a 2.000
- Flujo en zona de transición: para un número de Reynolds entre 2.000 y 4.000
- Flujo turbulento: para un número de Reynolds superior a 4.000

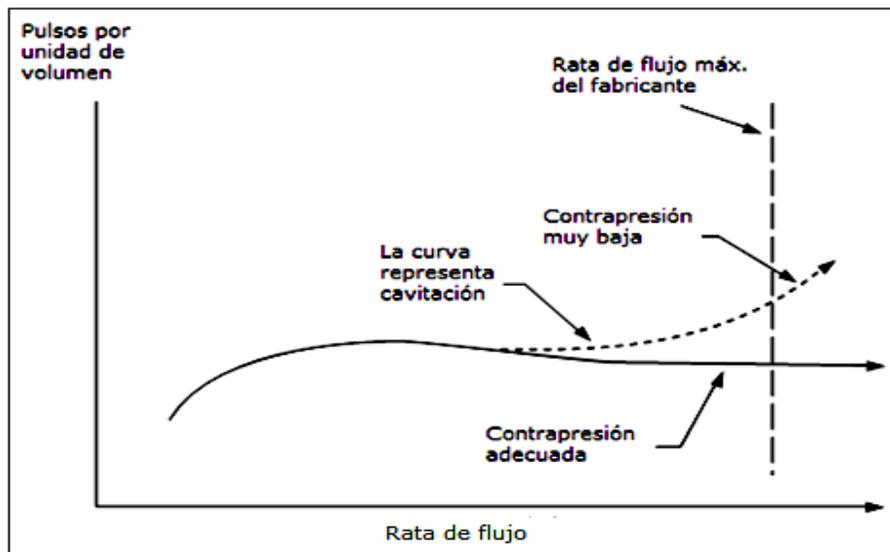
Otra forma de expresar el número de Reynolds, es:

$$Re = \frac{2214 * Q}{\mu * D_i} \text{ (Ecuación 3)}$$

Dónde:

- Q = Rata de flujo, en barriles por hora.
- D_i = Diámetro interno de la tubería, pulgadas.
- μ = Viscosidad del líquido, cSt.

b) Cavitación: cuando un líquido pasa por el rotor de la turbina (con anillo deflector y del rotor, o sin ellos), el área efectiva de paso de flujo es menor que la del cuerpo de la turbina, por lo que la velocidad del líquido aumenta.



Fuente: API MPMS Chapter 5.3.

Figura 8. Curva Típica de Cavitación para un Medidor de Turbina.

Este aumento de velocidad produce una reducción de presión en ese punto. Si esta presión llega a estar más baja que la presión de vapor del líquido, se produce una vaporización localizada del líquido que está fluyendo y se formarán bolsas o cavidades de vapor, fenómeno conocido como cavitación. Las bolsas de los vapores disminuyen drásticamente el área de flujo produciendo un aumento en la velocidad del fluido al pasar por la turbina e incrementando abruptamente la velocidad del rotor, o sea, un sobre-registro.

La mínima contrapresión requerida para evitar el fenómeno de cavitación en el medidor, se calcula así:

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

$$P = 2 * P_m + 1,25 * P_{eq} \text{ (Ecuación 4)}$$

Dónde:

- P = presión mínima de contrapresión [psig].
 P_m = caída máxima de presión a través del medidor [psig].
 P_{eq} = presión de equilibrio del líquido a condiciones de operación [psia].

c) Depósitos en el rotor o en las paredes del medidor

Si se forman depósitos o incrustaciones en los álabes del rotor o en las paredes del medidor, el área de flujo se reduce y causará un aumento en la velocidad del rotor, causando un sobre registro.

Cualquier material extraño que pueda adherirse al rotor y que genere arrastre o fricción contra el cuerpo de la turbina, causará el efecto de retardar el giro del rotor en comparación con la velocidad promedio del fluido. El resultado será un error de sub-registro.

d) Remolinos (swirl):

Debido a que el acondicionador de flujo corrige el perfil de flujo, pero no necesariamente los remolinos o giros transversales del fluido, el rotor se ve afectado por estos, tendiendo a un sobre-registro o sub-registro, dependiendo del sentido del giro.

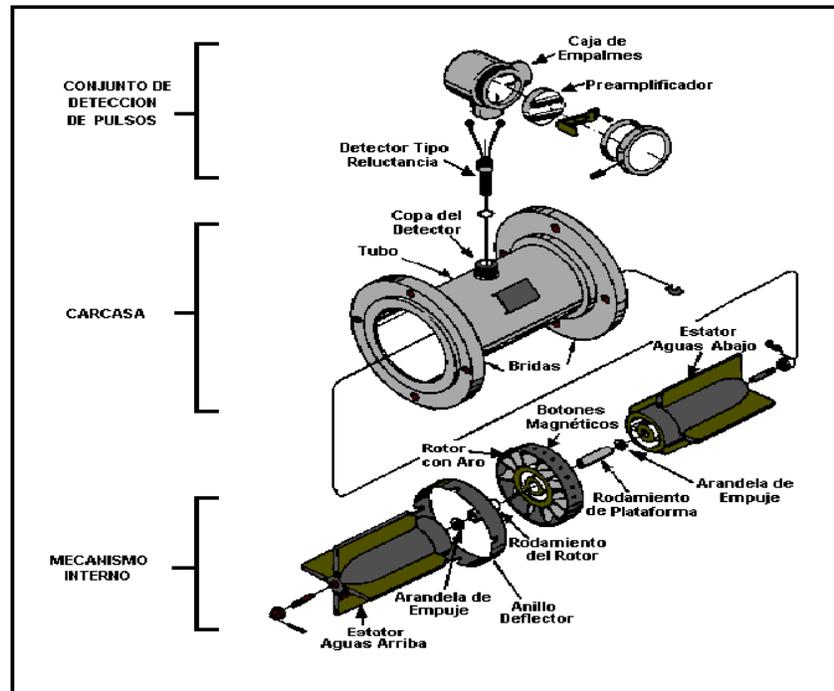
Deben hacerse los diseños de tubería requeridos para minimizar los efectos de los remolinos del flujo.

7.4.1.2. Medidores tipo turbina convencional

Los medidores de turbina tipo convencional deben trabajar con una corriente de flujo que ha sido suficientemente acondicionada para eliminar remolinos y la deformación del perfil de la velocidad causada por filtros, codos, válvulas y otros accesorios de tubería. Las partes de un medidor de turbina se pueden observar en la Figura 9.

Si no existen limitaciones de espacio, el medidor puede ser instalado con una tubería recta de por lo menos 20 diámetros de tubería aguas arriba del medidor y 5 diámetros aguas abajo del medidor. La instalación aguas arriba puede reducirse a un mínimo de 10 diámetros si se utiliza enderezador de flujo.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1



Fuente: FMC Technologies Turbina Sentry.

Figura 9. Partes de un Medidor de Turbina Convencional.

Se debe asegurar que los diámetros internos de los tramos de tubería aguas arriba y aguas abajo del medidor sean iguales al del medidor, que en las soldaduras de las bridas no queden rebabas sobresalientes y que la rugosidad interior de los tubos sea la menor posible (la de una tubería nueva en buen estado). Debe asegurarse también que los empaques queden perfectamente alineados con respecto al diámetro interno de las tuberías.

7.4.1.2.1. Requerimientos técnicos

- Para transferencia en custodia las turbinas deben tener una repetibilidad menor o igual a $\pm 0,02\%$ y una linealidad típica entre $\pm 0,07\%$ a $\pm 0,15\%$.
- Rangeabilidad típica de 1:10.

• Ventajas:

- Excelente repetibilidad.
- Alta exactitud bajo condiciones definidas (rango de medición, viscosidad).
- Manejo de un amplio rango de flujo y buena linealidad.
- Bajas pérdidas de presión.
- Larga vida de los cojinetes.
- Soporta altos rangos de temperatura y presión.

• Desventajas:

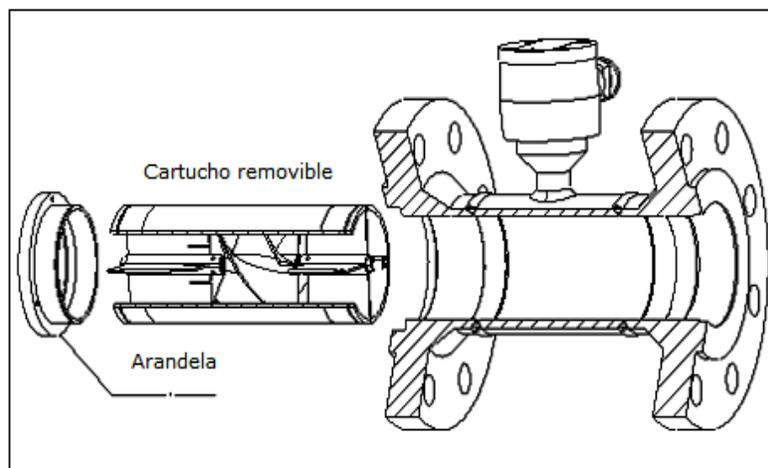
	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

- Necesidad de acondicionar el flujo aguas arriba y abajo del medidor.
- No recomendado para fluidos con viscosidad mediana y alta.
- Susceptible a incrustaciones y depósitos en el rotor.

7.4.1.3. Medidores tipo turbina helicoidal

Este tipo de medidor ofrece tecnológicamente la posibilidad de manejar productos con mayor viscosidad de las que puede manejar una turbina convencional.

Las turbinas helicoidales están construidas de manera similar a las convencionales: los elementos básicos son los mismos, con la excepción de la forma del rotor o impeler y el diseño en forma del cartucho de la sección de medición (Figura 10).



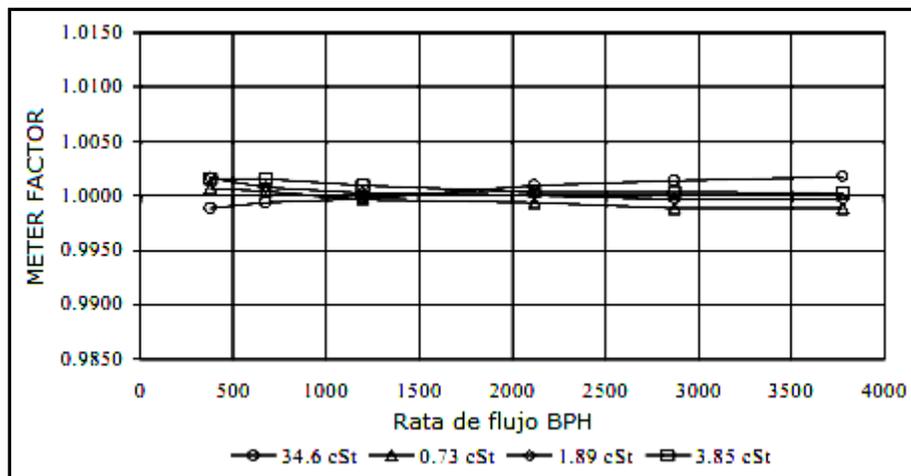
Fuente: reporte técnico Class No. 289 Faure Herman.

Figura 10. Turbina Helicoidal.

El diseño del rotor de la turbina helicoidal aumenta la capacidad para el manejo de productos viscosos siendo menos sensibles a la viscosidad (Figura 11).

Puesto que estos medidores generan un número de pulsos muy bajo sí se compara con una turbina convencional, para su calibración se debe considerar implementar en el computador de flujo técnicas de doble cronometría.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1



Fuente: reporte técnico Class No. 289 Faure Herman.

Figura 11. Impacto de la Viscosidad sobre el Factor del Medidor (MF).

Se requiere: instalar una válvula de contrapresión si la presión aguas abajo del medidor cae por debajo de la presión de vapor de equilibrio del producto que está midiendo y realizar filtración aguas arriba del medidor para protección contra material particulado que pueda dañar el rotor.

Se recomienda realizar una serie de pruebas piloto de este tipo de medidor bajo condiciones diferentes de operación, antes de generalizar el uso de las mismas en una aplicación específica. Esta recomendación se hace extensiva a cualquier tipo de tecnología con la cual no se haya tenido suficiente experiencia como medidor volumétrico para transferencia de custodia.

• **Ventajas:**

- Puede operar en un rango bajo a medio de viscosidades.
- De fácil mantenimiento.
- Caída de presión baja.
- Menos afectado por depósitos en el rotor que la turbina convencional.
- Algunos modelos tienen incorporado el acondicionador de flujo al medidor.

• **Desventajas:**

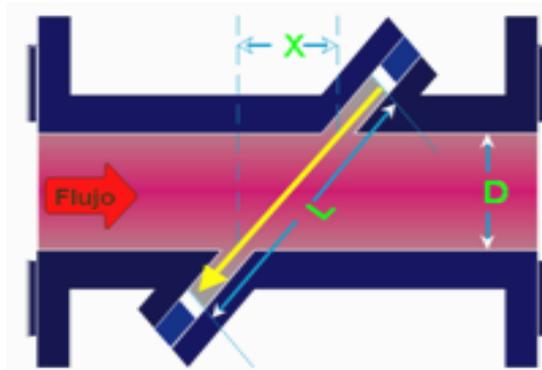
- Debe ser calibrado utilizando un método de interpolación de pulsos.
- Requiere acondicionamiento de flujo.

7.4.2. Medidor ultrasónico tipo tiempo de tránsito

Los medidores ultrasónicos de tiempo de tránsito, utilizan pares de transductores cuya señal ultrasónica viaja transversalmente al sentido del flujo, de un sensor a otro y posteriormente en sentido contrario. La diferencia de los tiempos de ida y vuelta es proporcional a la velocidad media del fluido (Figura 12).

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013

Este tipo de medidores se diseñan para ser usados con líquidos limpios. No presentan obstrucciones al flujo, ni tampoco partes móviles y por ello su caída de presión es despreciable.



Fuente: Basado en Krohne Ultrasonic Flow meter.

Figura 12. Medidor Ultrasónico para Líquidos.

Si la distancia entre los dos sensores es conocida, entonces la diferencia de tiempo de tránsito medida es directamente proporcional a la velocidad de flujo. Ambos sensores están conectados a un transmisor. El transmisor excita los sensores para generar las ondas de sonido y mide el tiempo de tránsito de estas ondas que se propagan de un sensor al otro. Los sensores que están en contacto directo con el líquido se conocen como "sensores de inserción o húmedos". Los medidores ultrasónicos (UFM) presentan característica de auto-diagnóstico la que permite de acuerdo al fabricante recopilar información relacionada con:

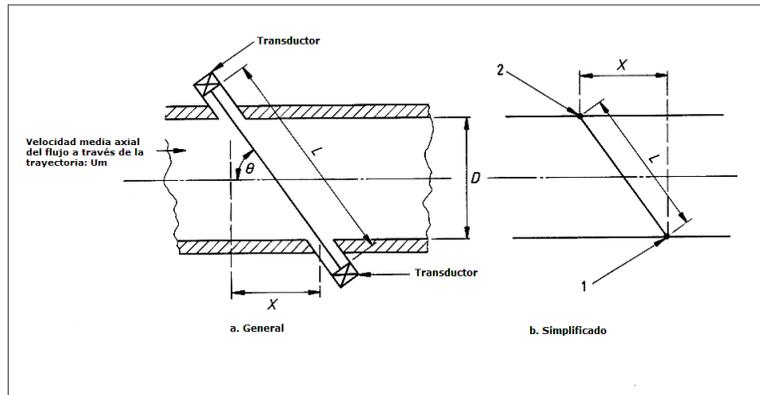
- Relación señal-ruido.
- Ganancia para cada transductor.
- Desempeño (% de señales aceptadas por trayectoria).
- Velocidad del sonido calculada por trayectoria.
- Perfil de velocidad.
- Remolinos en el perfil del flujo.

Cada fabricante puede suministrar información adicional a la señalada anteriormente, la cual es utilizada para conocer el estado del medidor en un momento dado y que es reconocida como indicadores avanzados de diagnóstico.

7.4.2.1. Principio de operación

Se miden los tiempos de tránsito de pulsos que viajan diagonalmente a través de la tubería, aguas abajo con el flujo y aguas arriba en contra del flujo de líquido. La diferencia en estos tiempos de tránsito a lo largo de múltiples trayectorias acústicas está relacionada, con la velocidad media del líquido que fluye. Los canales ultrasónicos son llamados también "trayectorias", "paths" o "chords".

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1



Fuente: Basado en Krohne Ultrasonic Flow meter.

Figura 13. Principio de Tiempo de Tránsito en el Medidor Ultrasónico.

De la Figura 13 se pueden deducir las ecuaciones que muestran la velocidad de flujo y el cálculo del caudal volumétrico. Los pulsos que salen del transductor 1 hacia el transductor 2, son afectados por la componente de la velocidad de flujo a lo largo de la trayectoria y viajan más lentamente. Su velocidad es dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{L}{T_{12}} = c - U_m * \frac{X}{L} \quad (\text{Ecuación 5})$$

De otro modo, los pulsos en la dirección opuesta viajan más rápido y su velocidad es:

$$\frac{L}{T_{21}} = c + U_m * \frac{X}{L} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Restando las dos ecuaciones, eliminamos la velocidad del sonido y obtenemos:

$$U_m = \frac{L^2}{2 * X} * \frac{T_{12} - T_{21}}{T_{12} * T_{21}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

En donde:

- L = longitud de separación de los transductores ultrasónicos.
- T_{12} = tiempo de tránsito del pulso ultrasónico que viaja del transductor 1 al 2.
- T_{21} = tiempo de tránsito del pulso ultrasónico que viaja del transductor 2 al 1.
- U_m = velocidad media axial del líquido que atraviesa la trayectoria entre un par de transductores ultrasónicos.

De la ecuación 7 se deduce que la velocidad media del fluido es solamente una función del tiempo y de la geometría del medidor; esto significa que la medición es independiente de las propiedades del líquido. Igualmente, se puede calcular el caudal volumétrico Q , a las condiciones de proceso:

$$Q = U_m * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{Ecuación 8})$$

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

Las frecuencias de ultrasonido utilizadas en los medidores de tiempo de tránsito para líquidos se ubican en la región del orden de 20 KHz en adelante.

7.4.2.2. Ventajas y desventajas

- **Ventajas:**

- No genera pérdidas de presión.
- Expectativa de larga vida útil.
- Alta rangeabilidad.
- El principio de medición es independiente de las propiedades físicas del fluido.
- No tiene partes mecánicas móviles.
- Se puede usar en flujo bidireccional.
- Software de auto-diagnóstico con indicadores de desempeño.

- **Desventajas:**

- Los resultados de la medición son altamente dependientes del perfil de flujo.
- Susceptibles a efectos de resonancia y reflexión de armónicos de la señal ultrasónica.
- Requiere protección contra señales y corrientes parásitas.
- Requiere acondicionamiento del flujo.
- Requiere ajuste de cero.
- Susceptible a fallas de medida por depósitos en los transmisores.
- Requiere probadores con mayor volumen certificado y mayor número de corridas de prueba para obtener el factor del medidor debido a retardos en el microprocesador que genera la salida de pulsos.

7.4.3. Medidores másicos tipo Coriolis

La masa de un líquido no es influenciada por variables tales como temperatura, presión y densidad, por ello la medición másica tiene algunas ventajas que la medición volumétrica no puede igualar. Este es un aspecto de particular importancia para la medición dinámica en fiscalización o transferencia de custodia, por esta razón ha surgido en décadas recientes un principio de medición basado en el principio de Coriolis que permite cuantificar el flujo másico directa y continuamente.

7.4.3.1. Descripción

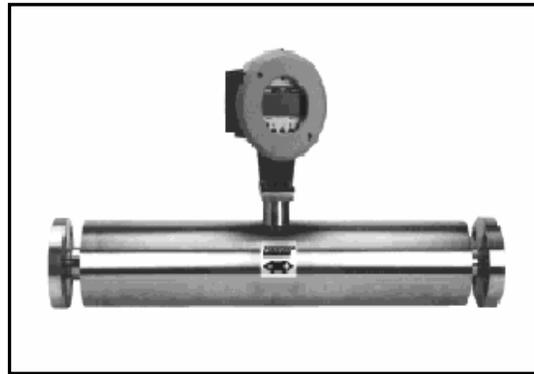
Un medidor tipo Coriolis está conformado por un sensor y un transmisor. Un sensor típico tiene uno o dos tubos a través de los cuales pasa el líquido. El tubo o los tubos se hacen vibrar a una frecuencia natural de resonancia, por medio de un mecanismo de manejo electromagnético. La corriente de flujo genera una fuerza de Coriolis que es directamente proporcional a la rata de flujo del líquido. La magnitud de la fuerza de Coriolis puede ser detectada y convertida a flujo másico.

Se requieren dos fenómenos para generar una fuerza de Coriolis: un movimiento de rotación y una masa que se mueve en dirección y hacia afuera del eje de rotación. En los medidores tipo Coriolis, la vibración es generada en el tubo vibrante por medio de un sistema impulsor electromagnético. La entrada y salida del tubo se encuentra anclada, mientras que el (los) tubo(s) vibra en un punto medio. Aguas arriba y aguas abajo del sistema impulsor se localizan sensores que se utilizan para detectar la respuesta de la fuerza Coriolis.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013



Fuente: Micromotion



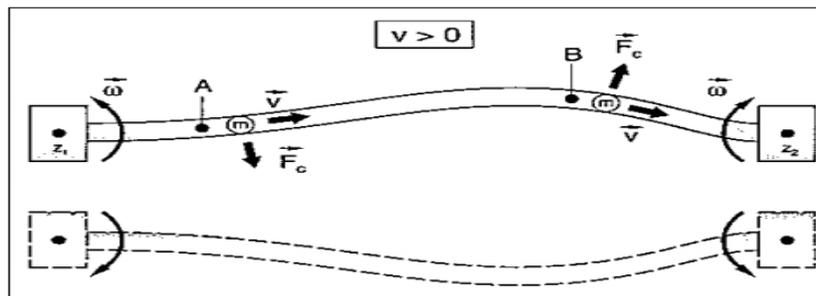
Fuente: Krohne.

Figura 14. Medidores Tipo Coriolis.

Las vibraciones son detectadas por unos sensores y convertidas a rata de flujo másico mediante un transmisor electrónico. El flujo que pasa por los tubos especialmente diseñados genera una fuerza igual pero de sentido opuesto en cada segmento medio del tubo, haciéndolos vibrar y cuya magnitud es proporcional a la rata de flujo másico.

7.4.3.2. Principio de operación

Este tipo de medidor mide la masa directamente. Para determinar el volumen a través del medidor la configuración del transmisor toma la masa medida y la divide por la densidad determinada por el equipo. Cuando la masa de líquido fluye a través del tubo de medición, está sometido a una aceleración lateral por las fuerzas de Coriolis (F_c). A medida que el líquido se desplaza en el tubo, la masa se separa hacia afuera del centro de rotación (Z_1) y retorna luego hacia el centro (Z_2) a medida que se aproxima al extremo de salida del tubo. Consecuentemente, las fuerzas de Coriolis actúan en direcciones opuestas a la entrada y a la salida y el tubo de medición empieza a "torcerse". Este cambio en la oscilación inducida del tubo de medición es registrado como una diferencia de fase por los sensores (A, B) en cada extremo del tubo. Esta diferencia de fase (Dt) es directamente proporcional a la masa (m) de líquido y a la velocidad de flujo (V) y por lo tanto al flujo másico (Figura 15).



Fuente: Micromotion.

Figura 15. Fuerzas de Coriolis y Geometría de Oscilación.

La fuerza de Coriolis es el producto de los vectores $\vec{\omega}$ y \vec{V} , y su valor es:

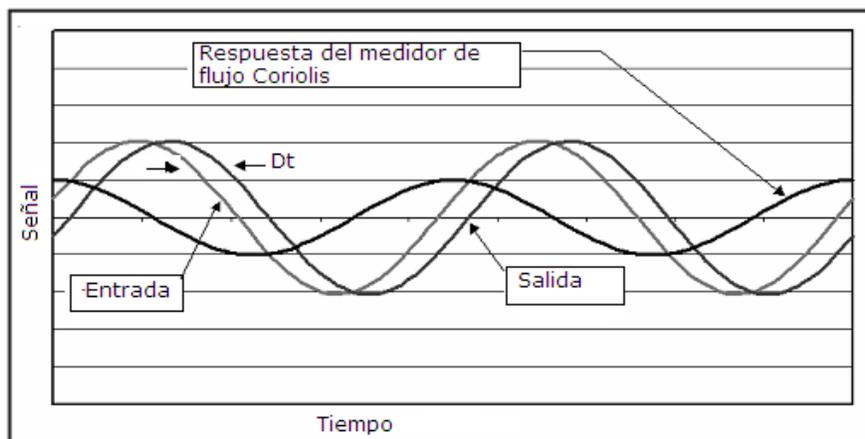
	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

$$F_c = 2 * m * \vec{\omega} * \vec{V}$$

En donde:

- F_c = fuerza de Coriolis.
 m = masa del líquido que fluye por el tubo recto.
 $\vec{\omega}$ = velocidad angular alrededor del eje del tubo.
 \vec{V} = velocidad lineal del fluido.

La combinación de las fuerzas opuestas en ambas secciones del tubo causa una torsión del mismo, produciéndose en cada sección una oscilación de igual frecuencia pero desplazada en fase. Esta diferencia de fase es directamente proporcional a la rata de flujo (Figura 16).



Fuente: Micromotion.

Figura 16. Señal de Respuesta del Medidor Tipo Coriolis.

$$Qm = k * Dt$$

Dónde:

- Qm = rata de flujo másico.
 k = constante.
 Dt = ángulo de fase.

7.4.3.3. Ventajas y desventajas

- **Ventajas:**

- Su exactitud es $\leq 0,15\%$ en medición de flujo másico.
- El sensor es no intrusivo.
- Bajos niveles de mantenimiento.
- No es susceptible al daño por desprendimiento de gases.
- Capacidad para medir a ratas de flujo cercanas a cero.
- Mínimamente afectado por cambios en la viscosidad.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

- Mediciones directas de masa y densidad (proporcionando medición de volumen indirecta).
- Normalmente no requiere acondicionamiento de flujo.
- Capacidad de diagnóstico.

• **Desventajas:**

- Costo inicial alto.
- Cambios significativos en la densidad afectan la exactitud.
- Alta caída de presión.
- Presenta cavitación por baja contrapresión aguas abajo.
- Sensibilidad a las condiciones de instalación, incluidos golpes y vibraciones.
- Aunque se fabrican en dimensiones de hasta 10", normalmente no se utilizan tamaños superiores a 6" para las aplicaciones de transferencia de custodia. Esto limita su utilización a altas tasas de flujo.
- Algunas veces se dificulta su calibración, debido a retardo de tiempo en la generación de los pulsos de salida.
- Requiere ajuste del "cero" (tara) en forma periódica (línea presurizada y sin flujo).
- Las condiciones operacionales y ambientales (temperatura, presión, densidad y viscosidad) pueden afectar el ajuste del cero.
- Susceptible a los efectos de esfuerzos por efecto de mala alineación en las tuberías de acople.
- Daños del sensor no pueden ser reparados en el campo.
- Mayor número de corridas de prueba para obtener el factor del medidor debido a retardos en el microprocesador que genera la salida de pulsos.

7.4.3.4. Condiciones de operación y mantenimiento

Para determinar la densidad del producto es necesario instalar un transmisor de temperatura por separado que mida la temperatura del producto y utilice este valor para compensar la densidad observada cuando se realiza conversión a volumen. La RTD que tiene el medidor no posee la clase de precisión requerida y está instalada en contacto con la pared del tubo de medición, instalación que está diseñada para hacer la compensación para el material de los tubos, por lo que su lectura no cumple requisitos de una operación de transferencia de custodia.

Durante la operación, los tubos deben permanecer llenos de fluido en una sola fase y no deben estar sometidos a los efectos de vibraciones externas (bombas, compresores, etc.).

- Algunas recomendaciones para el mantenimiento del sistema son:
 - Inspección visual del montaje mecánico cada año.
 - Inspección visual de los sellos de conexión y del conduit cada año.
 - Verificación del cero flujo durante la puesta en marcha y cada seis meses.
 - Verificación de salidas análogas y pulsos cada año.
 - Verificación de lecturas de densidad cada año.

7.5. SELECCIÓN DE MEDIDORES

La selección de un medidor de flujo es una labor complicada, debido a los diferentes diseños y tecnologías, pero también al gran número de factores que influyen en la escogencia. Para hacer una

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

selección correcta se deberán determinar previamente los parámetros del medidor y de la aplicación respectiva. En general la actividad puede comprender dos etapas:

1. Definición de la aplicación.
 2. La selección del medidor de flujo.
- La definición de la aplicación comprende haber determinado lo siguiente:
 - Propiedades físicas y químicas del líquido.
 - Ratas de flujo esperadas o requeridas.
 - Rangos de temperatura y de presión.
 - Temperaturas ambientales.
 - Duración de la operación (continua o por baches).
 - Localización del medidor.
 - Accesibilidad para mantenimiento y calibración.
 - Consideraciones de seguridad.
 - Exactitud requerida.
 - Presupuesto de compra.

Otras consideraciones básicas que afectan la selección, se presentan en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Características de Medidores de Flujo para Transferencia de Custodia de Líquidos.

Categoría	Unidades	Medidor tipo MDP	Medidor tipo Coriolis	Turbina convencional	Turbina helicoidal	Medidor Ultrasónico (UFM)
Tamaños		< 1" - 16"	< 1/2" - 6"	< 1" - 20"	< 1" - 16"	4" - 24"
Max. Rata flujo	BPH	12.500	4.500	42.000	28.000	63.000
	m ³ /h	2.000	715	6.650	4.450	10.000
Máxima presión	psi	1.440 (**)				
	Bar	100				
Rangueabilidad para $\pm 0,15\%$		8:1 a 200:1	8:1 a 25:1	10:1	40:1	40:1
Tipo de probador recomendado (*)		VTP, SVP, CPP	CPP	SVP, CPP	SVP, CPP	CPP

Fuente: Technical Paper FMC Bulletin TPOA014.

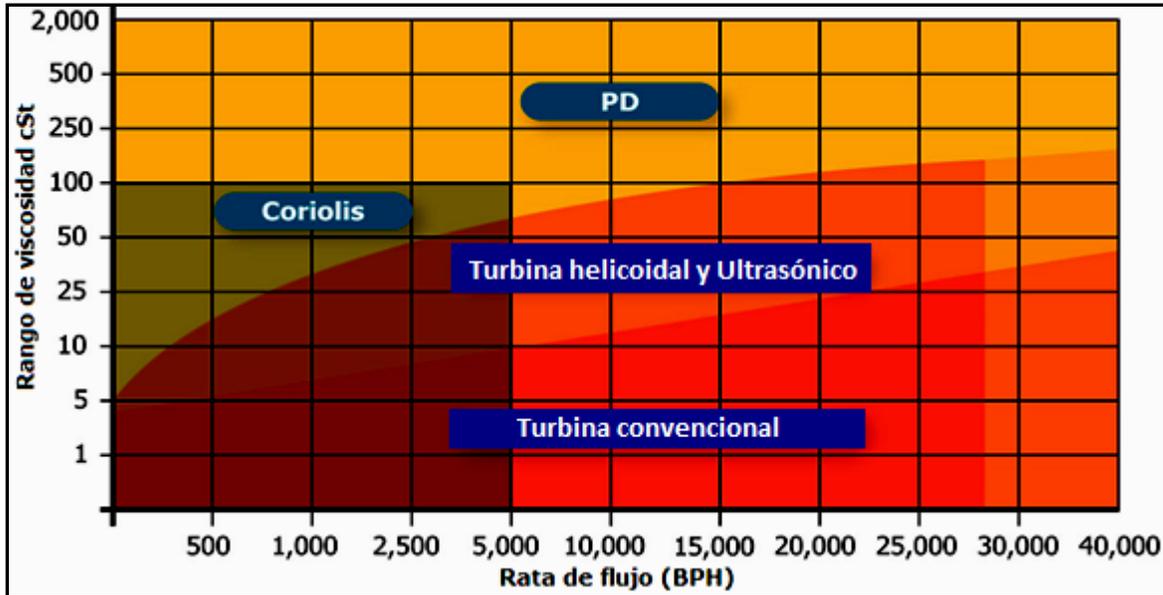
(*) VTP: Tanque volumétrico; SVP: Probador de Volumen Pequeño; CPP: Probador convencional de tubo.

(**) Para presiones mayores de operación se debe consultar con fabricantes.

De la diferentes tecnologías de medidores aprobadas actualmente para transferencia de custodia, no hay una de la que se pueda afirmar que sea la mejor para todas las aplicaciones (Figura 17).

Para líquidos no abrasivos el medidor de desplazamiento positivo puede manejar el más amplio rango de ratas de flujo y de viscosidades, presentando una larga vida útil. Las turbinas helicoidales pueden manejar altas ratas de flujo con viscosidades medias-altas, líquidos no abrasivos y representan la alternativa de costo más bajo.

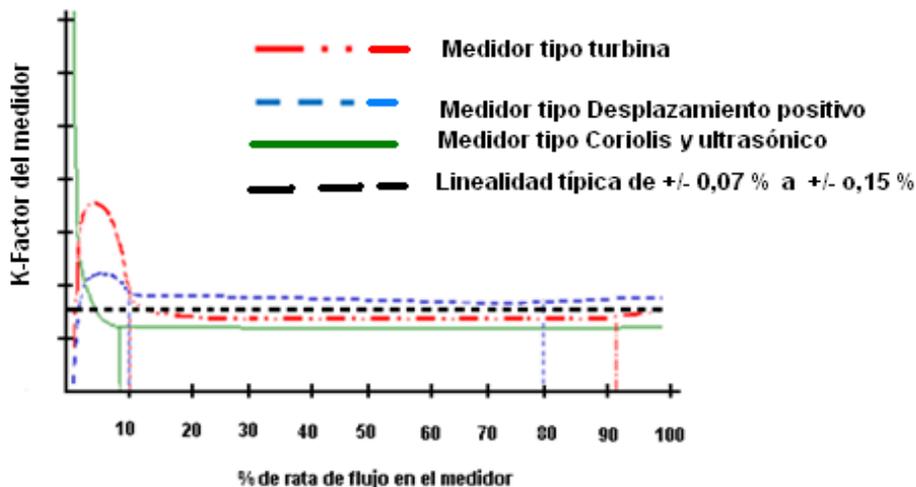
Los medidores tipo Coriolis se comportan bien dentro de sus rangos limitados de flujo y viscosidad, aunque generan altas caídas de presión. Los medidores ultrasónicos pueden manejar altas ratas de flujo y son los mejores manejando líquidos abrasivos.



Fuente: FMC Technologies.

Figura 17. Aplicabilidad Típica de Medidores.

En la curva típica de exactitud (Figura 18) se puede apreciar el comportamiento experimental de los tipos de medidores dinámicos más usados para transferencia de custodia, en ella se compara el factor del medidor Vs. % de tasa de flujo.



Fuente: ECP-VST-P-INS-ET-018 Estándar de Ingeniería para medición dinámica.

Figura 18. Curvas Típicas de Exactitud.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

Tabla 2. Consideraciones Generales para Selección de Medidores.

Propiedades del líquido	Condiciones ambientales	Instalación	Aspectos económicos	Rendimiento del equipo
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presión ▪ Temperatura ▪ Densidad ▪ Viscosidad ▪ Propiedades químicas ▪ Abrasividad ▪ Contenido de SW ▪ Material particulado ▪ Número de Reynolds ▪ Corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura ▪ Humedad ▪ Interferencia eléctrica local ▪ Factores de seguridad locales ▪ Efectos de la presión atmosférica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dirección del flujo ▪ Diámetro nominal y orientación ▪ Tramos de tubería de entrada y salida ▪ Vibraciones presentes en la tubería ▪ Localización y tipo de las válvulas más cercanas ▪ Localización y tipo de los accesorios más cercanos ▪ Necesidad de filtros y acondicionadores de flujo ▪ Conexiones eléctricas ▪ Accesibilidad para servicio y mantenimiento ▪ Flujo pulsante ▪ Localización de la instrumentación secundaria ▪ Complejidad de la tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precio de compra ▪ Costos de instalación ▪ Riesgo asociado a la falta de exactitud en la medición ▪ Costos de operación ▪ Costos de mantenimiento ▪ Costos de calibración ▪ Costo de repuestos ▪ Costo de propiedad ▪ Obras civiles ▪ Mano de obra ▪ Transporte 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exactitud requerida ▪ Repetibilidad requerida ▪ Rangeabilidad ▪ Máxima caída de presión permitida ▪ Señales de salida requeridas

Fuente: Extractado Flow Handbook Capítulo 7 – Endress+Hauser

La tabla 3 muestra una comparación de diferentes tipos de medidores de flujo para transferencia de custodia, examinados según atributos específicos.

Tabla 3. Comparación de Medidores.

ATRIBUTO	MDP	TURBINA	CORIOLIS	ULTRASÓNICO
Exactitud	Cumplen requisitos para transferencia de custodia			
Rangeabilidad	Media	Media-alta	Media-baja	Alta
Intervalo de viscosidad	Amplio	Bajo / Media ^(*)	Amplio	Medio
Costo de adquisición	Alto	Bajo	Medio	Alto
Costo de mantenimiento	Medio-alto	Bajo	Bajo	Bajo
Desgaste de partes	Medio	Medio	Bajo	Bajo
Sensibilidad al perfil del flujo	Bajo	Alto	Medio ^(**)	Alto

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPÍTULO 5 - MEDICIÓN DINÁMICA		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-005	Elaborado 21/06/2013	Versión: 1

ATRIBUTO	MDP	TURBINA	CORIOLIS	ULTRASÓNICO
Caída de presión	Media	Media	Alta	Despreciable
Tolerancia a vibraciones	Alta	Alta	Crítica	Alta
Tolerancia a ruido acústico	Alta	Alta	Alta	Baja

Fuente: Equipo extendido ECP-VSM-PMC

(*) Bajo: turbina convencional / Media: turbina helicoidal.

(**) Dependiendo del diseño del medidor (lineal o en U).

8. CONTINGENCIAS

No aplica.

9. REGISTROS

Son los formatos que soportan cada uno de los procesos de medición dinámica entre ellos están:

- Corridas de verificación de los medidores.
- Carta de control estadístico de los factores del medidor.
- Actas para la oficialización del factor del medidor (MF).
- Tiquete de medición.

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