VISIÓN ELECTRÓNICA

Preparación de Artículos revista VISIÓN ELECTRÓNICA: algo más que un estado sólido
Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:
Preparación de Artículos XIII CIECT

ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE PROBADORES BIDIRECCIONALES DE ESFERA (PBE)

STATE OF KNOWLEDGE ON BIDIRECTIONAL SPHERE TESTS (BST)

Brayan Muñoz Rojas [α], Andrés Escobar Díaz, Harold Vacca González[γ]

Resumen: El presente documento desarrolla el estudio exploratorio que condujo a establecer un estado de conocimiento sobre PBE estandarizados. El tema central se categorizó y subcategorizó usando el método por índices - validado por el grupo de investigación ORCA en el año 2018-, teniendo como normatividad orientadora la generada por el Instituto Americano del petróleo (API), y usando como claves: el concepto, los principios de funcionamiento, criterios y características constructivas, las clases, y las normas que gobiernan los probadores por desplazamiento. Las fuentes seleccionadas tienen como origen Manuales empresariales de construcción y calibración, Patentes, textos de carácter industrial, y tesis académicas. Se concluye que en las investigaciones futuras sobre PBE se requiere profundizar en las pruebas y calibraciones para fines específicos productivos.

[α] Tecnólogo en mecatrónica, Ing. En Control, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Bogotá, Colombia. Correo: bsmunozr@correo.udistrital.edu.co. ORCID https://orcid.org/0000-0002-7615-5389
[β] Ing. De Electrónica Universidad Distrital, Bogotá (Colombia), M.SC. en ingeniería electrónica y MBA, universidad de los Andes (Colombia). Posición actual Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo: aescobard@udistrital.edu.co. ORCID https://orcid.org/0000-0003-0527-8776
[Γ] Lic. En matemáticas, MSc. En Matemáticas aplicadas, Colombia. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. ORCID https://orcid.org/0000-0001-7017-0070. Correo hvacca@gmail.com

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:
Preparación de Artículos XIII CIECT

Palabras Clave: interpolación de pulsos, doble cronometría, probador, esfera, válvula inversora, detectores, waterdraw.

Abstract: This document develops the exploratory study that leads to establishing a state of knowledge about standardized BST. The central theme was categorized and subcategorized using the index method - validated by the ORCA research group in 2018 -, having as a guiding norm the generation by the American Petroleum Institute (API), and using as keys: the concept, the principles of operation, criteria and constructive characteristics, the classes, and the norms that govern the testers by displacement. The selected sources have as origin Manuals construction and calibration companies, Patents, industrial texts and academic theses. It is concluded that in future research on BST it is necessary to deepen the tests and calibrations for specific productive purposes.

Keywords: Pulse interpolation, double chronometry, tester, dial, reversing valve, detectors, waterdraw.

Introducción

Para la primera extracción exitosa de un pozo petrolero en 1859 -por el coronel Edwin L. Drake en los EEUU- el petróleo no era un recurso significativo en el mundo; esta circunstancia se desencadenó, más bien, con la aparición de los primeros automóviles en 1895 los cuales necesitaban de la gasolina. Ese nuevo combustible ignorado por siglos tomó un papel de vital importancia en la cotidianidad de las personas. Pero como los automóviles eran de poca funcionalidad y de alto costo, no fue sino hasta que Henry Ford revolucionó toda la industria automotriz con el lanzamiento -en 1922- de su famoso modelo “T”; para ese año consiguió

vender millones de automóviles: para 1938 fueron 40, y en los 50's -tan solo en los EEUU- superó las 100 unidades vendidas, [1].

Por lo expuesto, la demanda de petróleo - que subió a niveles extraordinarios- hizo necesaria una normalización para la explotación y el uso adecuado del recurso, bajo los más altos estándares de calidad; es así como surgió el instituto americano de petróleo -API- como ente regulador. El API cumple funciones –inclusive- ampliadas a la negociación con organismos reguladores, la investigación sobre efectos económicos, toxicológicos y ambientales, entre muchas otras, [2].

Igualmente, actualmente el API financia y orienta investigaciones relacionadas con aspectos industriales: optimización de procesos, reducción en emisión de CO_2, mitigación del efecto invernadero, entre otras. Es en este contexto que aparecen los PBE, figura 1, como tubos calibrados a través de los que, con la ayuda de una adecuada instrumentación, se puede conocer la cantidad de líquido que circula en una tubería durante determinado tiempo. Consta de una esfera que se traslada, a medida que el fluido pasa por los tubos, accionando detectores ubicados al final de la sección de un tubo calibrado iniciándose un conteo de pulsos que se detiene cuando es activado otro detector en el otro extremo del tubo. Los PBE, por tanto, se usan para la industria de hidrocarburos y, en general, son de vital importancia en los procesos industriales donde se requiere la supervisión o el control de fluidos.

Comentado [d1]: Mejorar resolución para el traductor

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:
Preparación de Artículos XIII CIECT

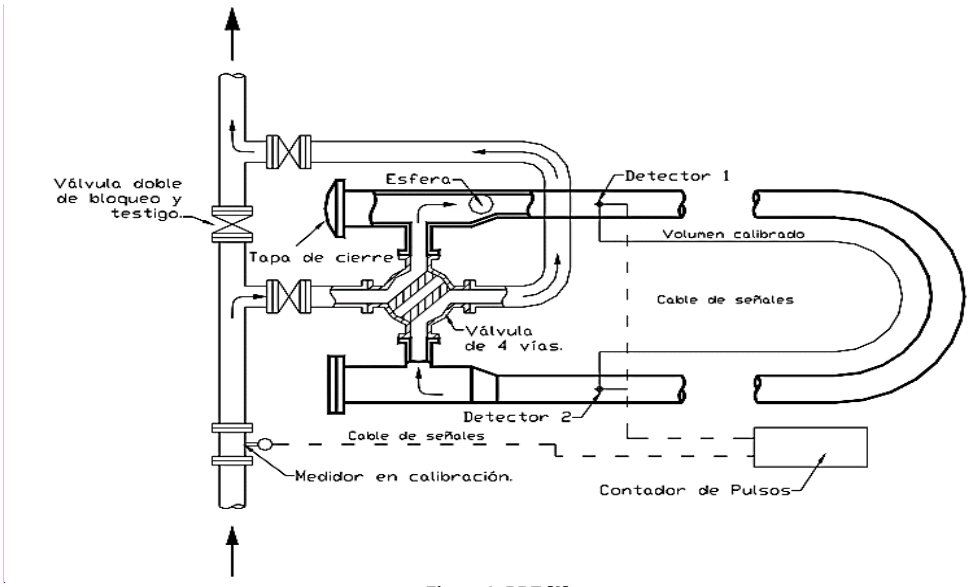


Figura 1. PBE [3].

No obstante, a pesar de que el proceso descrito de instrumentación ha sido normalizado, la información disponible en la literatura académica acerca del estado de conocimiento sobre los PBE es fragmentada; por esto, se requiere de estudios sistemáticos que aborden temas que integren los principios básicos de los probadores, el diseño de los mismos, así como la estandarización industrial –calibración-, de manera que el lector se enfoque adecuadamente en lo relativo al mantenimiento e ingeniería de PBE.

Por lo anterior, el presente artículo describe la investigación que actualiza el estado de conocimiento, usando como núcleo fuerte los detalles proporcionados por el API y su normatividad.

El documento se estructura de la siguiente manera: inicialmente se establece la metodología de la investigación documental. Posteriormente se mencionan los resultados donde se describen tópicos como: normas API, conceptos de probador por desplazamiento, componentes, principios de funcionamiento, criterios y características constructivas; luego se generalizan las formas de calibración de un PBE; y finalmente se establece las conclusiones del estudio.

1. Metodología

Para establecer las categorías y subcategorías que se desarrollan en la presente revisión se acude al método por índices, [3]. En el anterior sentido metodológico se encuentra que se ha incrementado el desarrollo de nuevas tecnologías sobre PBE sobresaliendo aspectos que aparecen en el manual de medidas estandarizadas del API (API MPMS capítulo 4), [4], tales como: *accesorios y características, Criterios de diseño, Criterios de construcción, calibración.* Desde esta perspectiva, para ***Accesorios y características*** las subcategorías correspondientes: transmisores, esferas, válvulas y recubrimientos, materiales y principios de funcionamiento; ***Criterios de diseño*** de un PBE se subcategoriza en: pre-run, volumen base, portabilidad, estacionalidad y longitud entre detectores; ***Criterios de construcción*** se subcategoriza en: detección, tipos de detección, interfaces, pulsos, interpolación, cronometría, diámetros, bridas, velocidades mínimas y máximas. Por último, para ***Calibraciones*** se destacan subcategorías como: waterdraw y medidor maestro.

En consecuencia, se estructura un artículo de revisión basado en la búsqueda de fuentes en; la base de datos IEEE, y en Google Scholar, Google Patents, y Google Books. Para el análisis

de los documentos de esta investigación, de carácter exploratorio y documental, se asumieron fuentes en cada una de las categorías y subcategorías; geográficamente se circunscribe al continente europeo y a Norteamérica. Las fuentes seleccionadas tienen como origen Manuales empresariales de construcción y calibración, Artículos, Patentes, Textos de carácter industrial, y Tesis académicas; en las tablas 1, 2, 3, 4 y el mapa conceptual de la figura 2 se muestra esta taxonomía.

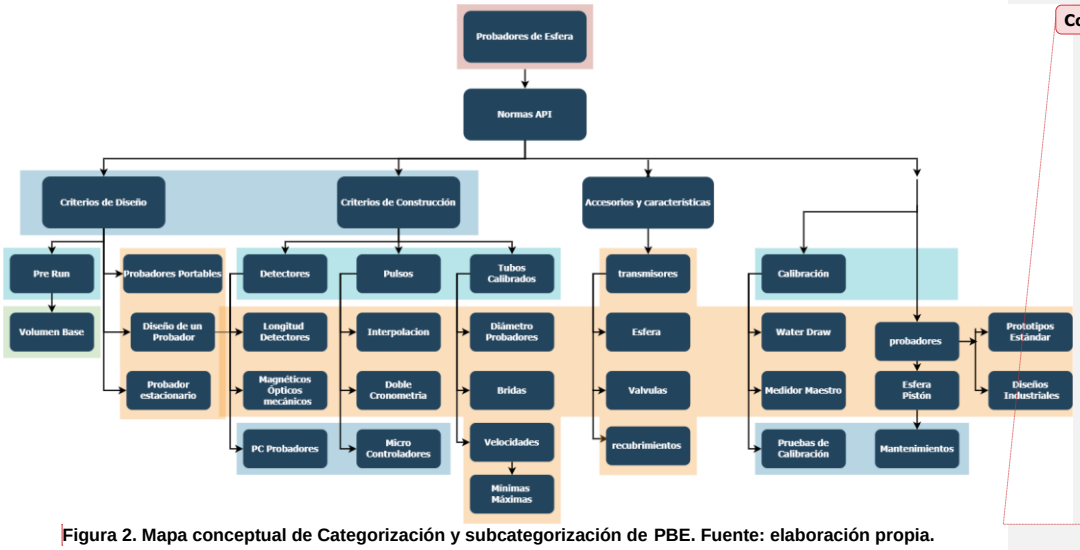


Figura 2. Mapa conceptual de Categorización y subcategorización de PBE. Fuente: elaboración propia.

En Tabla 1 se listan los capítulos de la API que tratan de probadores (capítulo 4): introducción a la normatividad de los probadores, funcionamiento de probadores, estándares de calidad e informes de accesorios según fabricante.

Comentado [U2]: ojo con fabricantes

Normas API, Funcionamiento y Accesorios
[1][2][3][4][5][6][7][8][9][10][11][12][13] [14][15][25][16][17][20][21][24][25] [26][30][32][33][39][35][37][38][39][40] [78][79][80][85][87][94][95][97][100]

Tabla 1: Fuentes desde las Normas API, calibración y Funcionamiento de PBE. Elaboración propia

En la Tabla 2, para la categoría Criterios de Diseño, se consideran las fuentes relacionadas.

Criterios de Diseño
[21][22][23][24][29][30][31][33][35][36][37][38] [39][40][41][45][46][47][48][49][50][51][52][53] [55][66]67][70][72][73][79][85][88][90][93][96]

Tabla 3. Fuentes para Criterios de Diseño de PBE. Elaboración propia

En la Tabla 3, para la categoría Criterios de Construcción, se consideran las fuentes relacionadas.

Criterios de Construcción
[7][9][13][14][15][16][18][20][22][23[[[25]26] [27][28][31][34][36][37][46][42][44][50][51] [52][54][56][57][58][59][60][61][62][63][66][67] [69][70][71][73][74][75][76][77][78][80][83][84] [86][87][88][89][90][91][92][94][95][97]

Tabla 3. Fuentes para Criterios de Construcción de PBE. Elaboración propia

En la Tabla 4, para la categoría calibración, se listan las fuentes correspondientes.

Calibración
[1][3][5][16][18][19][20][21][22] [36][41][42][45][46][47][49][50] [55][60][62][65][67][70][71][74][75] [76][80][82][89][95][97][98][99][100]

Tabla 4: Fuentes para Accesorios y Características de PBE. Elaboración propia

2. Desarrollo

2.1. API MPMS

Son normas aplicadas a la medición de hidrocarburos, [5]; las API MPMS son revisadas y reafirmadas cada 5 años, incluso a veces se hace cada dos años [6]. Se identifican los capítulos: 4.2 hasta 4.9.2. - Métodos de Calibración para desplazamiento y Tanque Volumétrico -. Los PBE, usados para mejorar la instrumentación en el proceso de medición de petróleo. El API es el punto de referencia frente a la investigación relacionada con PBE.

2.2. Probadores

Los probadores son utilizados como patrón de referencia para la calibración de sensores de

Flujo. Existen tres tipos de probadores: probador maestro, tanque probador, y probadores por desplazamiento, [7].

2.2.1. Probadores desplazamiento positivo

Estos probadores constan de tubos o cilindros cuyo volumen medido sirve de patrón para calibrar sensores de flujo, [8]. La parte fundamental de estos probadores son sus tubos calibrados, [9], los cuales son de cierto diámetro y se conoce el flujo que pasa en determinado tiempo, [10]. Vienen dotados de unos sensores que detectan el paso de una esfera o pistón, [11]. Al ser activado el detector se emiten unos pulsos, que se comparan con el sensor a calibrar, ilustrado en a figura 3, [12]. Existen dos tipos de probadores: esfera y pistón; y a su vez cada uno de estos puede ser probadores de desplazamiento unidireccional o bidireccional, [13].

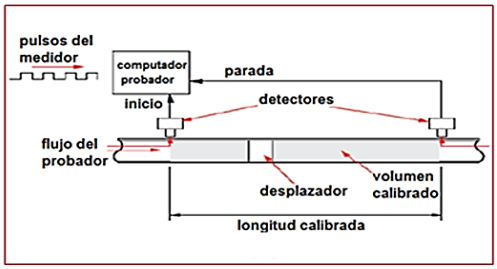


Figura 3. Principio de Desplazamiento [6].

Funcionalmente, en una sección de tubo calibrado ingresa el líquido empujando una esfera a lo largo del mismo, [14]. Al inicio y al final del tubo calibrado están ubicados los detectores los cuales son en la mayoría inductivos o mecánicos, [15]. La esfera, al pasar por el primer detector (start) inicia un conteo de pulsos y es detenida hasta que la esfera pasa por el segundo detector, [16]; a esto se le llama primera corrida, [17]. En los probadores bidireccionales la esfera circula en un sentido de ida y de vuelta, el total de pulsos contados son comparados con el sensor a calibrar, [18].

2.3. Accesorios y características de un PBE

Citando directamente al Manual de Medición de Hidrocarburos capítulo 4, sistemas probadores; los probadores bidireccionales tienen los siguientes accesorios y características:

- Al menos una tapa de apertura rápida (instalada en la cámara de lanzamiento de la esfera) ver figura 4. Con dispositivo indicador de presión, con capacidad que cubra la máxima presión del sistema, [20].

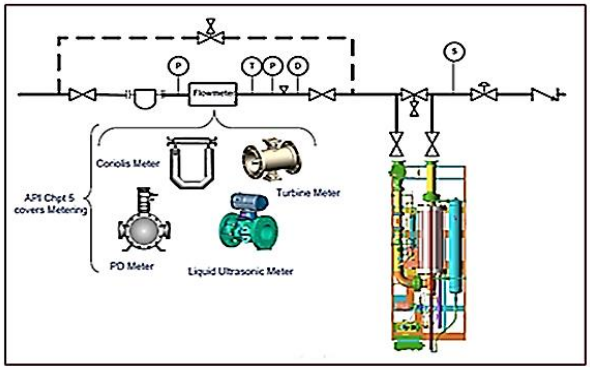


Figura 4. Esquema completo probador por desplazamiento [11].

- Válvula de bloqueo de entrada al probador.
- Transmisores de presión y temperatura, manómetros (opcional) y conexión para termómetro. Certificados en la entrada y salida del probador de presión para controlar esta variable dentro de él, [22].

• Esfera: los materiales empleados en la construcción de esferas elastómeras varían de acuerdo a las aplicaciones para las cuales son usadas, [23]. Las de uso común tienen tres materiales básicos: neopreno, nitrilo y uretano. Son las encargadas de activar los switches del detector y transportar el volumen de líquido calibrador, [24].

- Se debe proteger el probador internamente con material que proporcione un acabado sólido, suave y durable, reduzca la corrosión y prolongue la vida útil tanto del desplazado como del probador, [26].
- Cámaras de lanzamiento que envían la esfera en la corrida de prueba, como también desaceleran la misma al llegar a ellas, [27].

- Válvula de 4 vías encargada de inversión de flujo para probadores bidireccionales, [28].

La instrumentación relacionada, se encuentra representada en la figura 5.

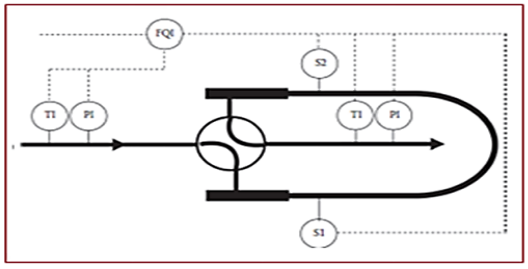


Figura 5. Instrumentación de un PBE [20].

2.3.1. Principio de funcionamiento de un PBE.

Su operación se basa en el principio de desplazamiento, así: inicia el flujo en la línea principal y el fluido pasa por el medidor, [30] - figura 6 -. Se abren las válvulas de entrada - figura 7 - y de salida - figura 8 - del probador y se activa el bloqueo de flujo, cerrando la válvula en la línea, [31].

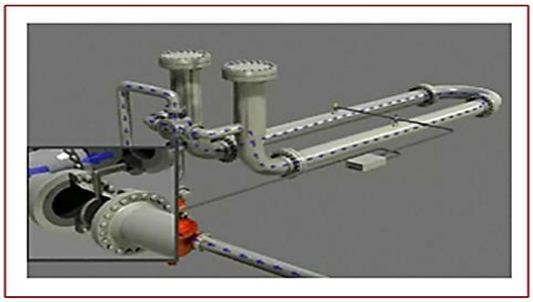


Figura 6. Bloqueo de flujo en la línea principal [21].

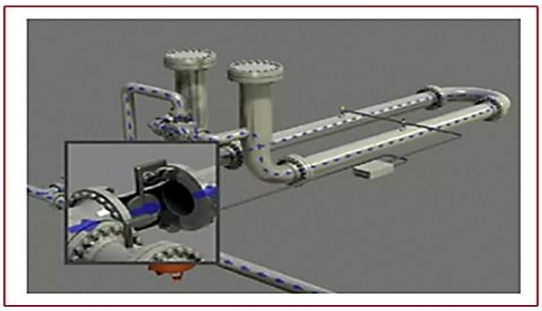


Figura 7. Apertura válvula de entrada del probador, [21].

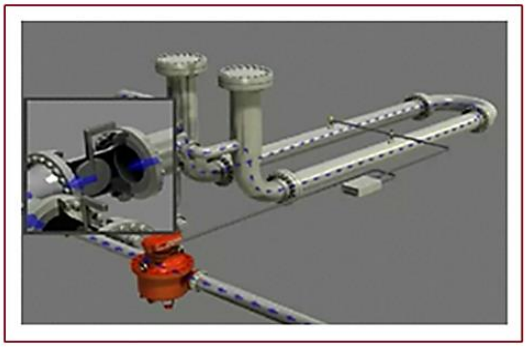


Figura 8. Apertura válvula de salida del probador [21].

Lo anterior se realiza para permitir el flujo a través del probador sin interrumpir el curso normal, [33]. De esta manera entra en funcionamiento el PBE para la verificación del medidor. El fluido que acaba de pasar por el medidor (o lo que es menos común, el fluido que va en camino al medidor) empuja la esfera a lo largo de un probador compacto, [34] – figura 9-.



Figura 9 Apertura de la válvula de cuatro vías [21].

En cuanto al probador, la esfera realiza un sello hermético contra la pared del mismo, [35], así:

- Al entrar la esfera a la sección de volumen conocido, ver figura 10. Un sensor detecta su proximidad y envía una señal eléctrica que abre una compuerta electrónica para admitir y contar los pulsos que son emitidos por el medidor, [36].

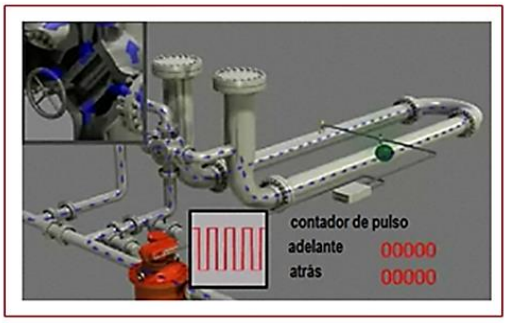


Figura 10. La esfera recorre la sección de volumen conocido [21].

- Cuando la esfera abandona la sección de volumen conocido entonces un segundo sensor de proximidad envía la señal eléctrica para cerrar la compuerta electrónica y finalizar el conteo de pulsos. Ver figura 11.

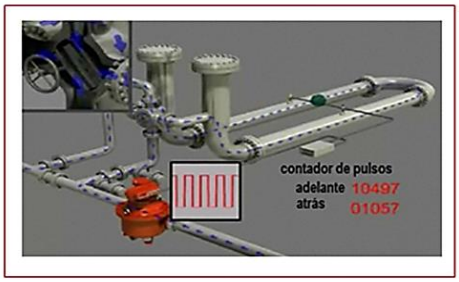


Figura 11: La esfera apenas activa el segundo sensor de proximidad indica que ha salido de la sección de volumen conocido [21].

- Después de realizar las correcciones pertinentes. Se compara el total de pulsos acumulados durante el viaje de ida y vuelta de la esfera (round trip volume), con respecto al volumen base del probador. Figura 12.

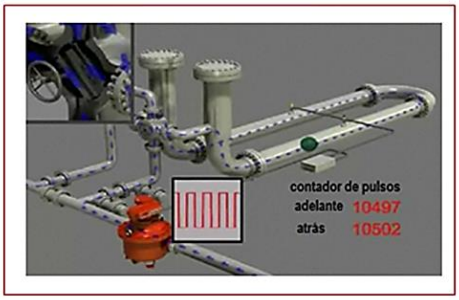


Figura 12: Se comparan los pulsos contados de ida y vuelta [21].

- En los probadores bidireccionales, el problema de retornar a la esfera al punto de partida se resuelve por medio de una válvula de 4 vías con la cual se puede invertir el flujo que pasa por el probador sin interferir con el flujo.

Para evitar golpes hidráulicos, la válvula de 4 vías se diseña de tal forma que el paso de fluido no se vea interrumpido en ningún momento durante la operación de la válvula, [38]. En estas condiciones, la esfera empieza a moverse para la zona de volumen conocido mientras la válvula de 4 vías continua girando, [39]. Bajo estas circunstancias es necesario estar seguros que la válvula de 4 vías haya finalizado su movimiento antes de que la esfera alcance el primer sensor, [40]. Para asegurar que suceda esto, se deja una porción de tubo sin calibrar entre la posición de reposo de la esfera y el detector. A esta porción del probador se le conoce como sección de precorrida o tramo de llegada, [41].

2.4. Criterios de diseño.

Para los criterios de diseño de PBE basados en la API MPMS capítulo 4.2, y tener una correcta ingeniería básica [43], se tiene que verificar:

- Si el probador bidireccional va ser fijo o móvil.
- Si estará en servicio continuo o aislado del flujo, cuando no se encuentre en uso.
- Los rangos de la presión y la temperatura, deben ser relacionados para el diseño.

2.4.1. Recubrimiento interno de tubos.

Los recubrimientos internos se aplican para dos propósitos principales, [45]:

- Proteger la tubería de corrosión y picaduras, para evitar problemas de repetitividad.
- Proporciona superficie lisa para que la esfera pueda trasladarse con sello móvil estable, sin sobretensiones o sacudidas, [46].

Los tipos de recubrimiento utilizados en probadores son, [47]:

- Epoxi secado al aire
- Fenólico cocido al horno
- Ninguno - Desnudo (servicio crudo).

2.4.2. Volumen base de un probador

Para los PBE. El volumen base se expresa como la suma de los volúmenes calibrados entre detectores en dos pases consecutivos, [49]. Cada pase debe tener la temperatura y presión estándar. El volumen base del PBE, lo podemos determinar con tres o más corridas. Cada una de estas corridas, debe ser consecutivas y se repiten dentro de un rango de 0,02%. [50]. Los PBE son conocidos por su alta capacidad de almacenar cantidad de líquido entre pruebas, [51]. Algunos de los PBE están representados en las figuras 13, 14, 15.

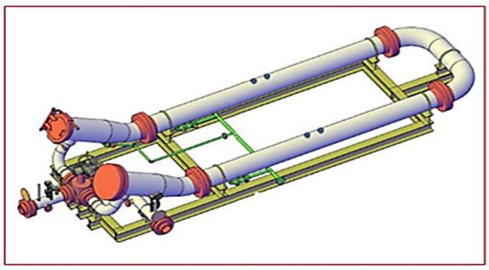


Figura 13: probador de esfera tipo U [24].

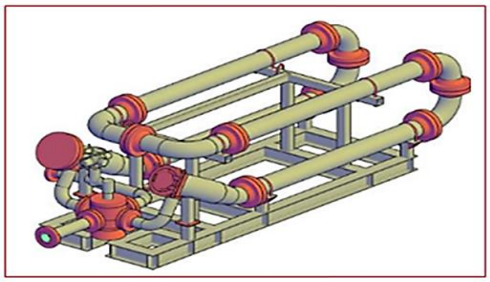


Figura 14: probador de esfera tipo escorpión [24].

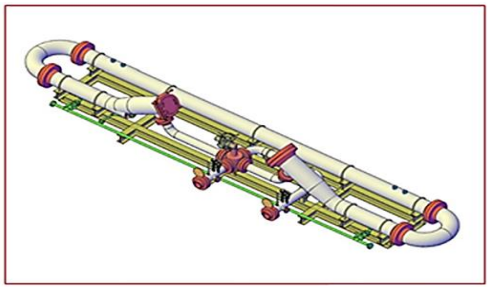


Figura 15: probador de esfera tipo con sección recta calibrada [24].

2.5. Criterios para la construcción

En el documento, *API MPMS capitulo 4 sección 2 "Proving Systems - Displacement Provers"* se habla específicamente de este tipo de probadores, y debe ser construido de acuerdo con normas basadas en la API teniendo como base los siguientes criterios:

2.5.1. Detectores

Los detectores deben tener como cualidad que puedan detectar los materiales que constituyen la esfera o pistón, [53]. En algunos casos trabajaran en condiciones sumergibles [54]. Algunos detectores que se encuentran en el mercado de probadores son:

2.5.1.1 Detectores de accionamiento mecánico

Se utiliza principalmente con desplazadores de esfera de elastómero. En general se acciona cuando el PBE hace contacto con una varilla de acero inoxidable o bola que sobresale en el tubo del probador, [55]. Se activa un interruptor electrónico que indica el paso de la esfera por la sección de tubo calibrado. Los interruptores detectores son hidráulicamente equilibrados, esto evita que el interruptor sea activado con un pico de presión, [56].

2.5.1.2. Detectores de accionamiento óptico

Son utilizados en ambos tipos de probadores -esfera y pistón-, pero generalmente en los tipo pistón, [62]. También son montados sobre la tubería sin la necesidad de roscarlos. El diseño del detector óptico tiene una fuente de luz junto con una célula detectora fotoeléctrica, montada en el lado opuesto, [63].

2.5.2. Longitud entre detectores

La repetitividad del detector es crucial en determinar el volumen del probador. Los probadores más comunes son los de acción mecánica. Para conocer la distancia más adecuada de la posición de los detectores, es necesario saber la resolución de los detectores (RD), [65] -proporcionada por el fabricante-. La máxima distancia recorrida por la esfera en un viaje sencillo se calcula como, la distancia entre detectores más dos veces la resolución. La mínima distancia se calcula como la distancia entre detectores menos dos veces la resolución, [66].

2.5.3. Velocidad del probador.

Es la velocidad con la que se requiere mover la esfera en el tubo calibrado. Teniendo que establecer velocidad máxima de la esfera, para prevenir daños, (en los detectores y fricción con el tubo), [67]. Con este criterio se tiene mejor repetitividad, exactitud y reproducibilidad de los factores de medición. Así como se considera la velocidad máxima debe analizarse el probador trabajando en velocidad mínima, especialmente en líquidos que tiene poca capacidad lubricante, [68].

2.5.3.1. Velocidad máxima de un probador

Para probadores de esfera -según la API MPMS en el capítulo 4.2.- se especifican las velocidades máximas y mínimas. En la máxima, se recomienda 10 pies/seg en diseño unidireccional y 5 pies/seg en PBE. Se puede tener mayores velocidades incorporando un diseño para limitar el choque mecánico e hidráulico, [70].

2.5.3.2. Velocidad mínima del probador

En la velocidad mínima se sugiere tener en cuenta que si se miden líquidos de poca lubricación, se corre el riesgo de que la esfera corra y se detenga y vuelva a correr. Debe, en tanto, garantizarse un desplazamiento uniforme entre el tubo calibrado. Las velocidades mínimas típicas del PBE para fluidos de poca lubricación como gasolina y GLP son: 0,5 – 1,0 pies / seg, [71].

2.5.4. Precorrida

Es la longitud de tubería requerida para el PBE. La cual le permita, viajar desde su posición de reposo, hasta el primer detector. La mínima longitud, debe permitir el suficiente tiempo para alcanzar la máxima velocidad constante, antes de alcanzar la sección calibrada del probador, [72]. Otra función de la pre corrida es: proporcionar el tiempo suficiente, para la válvula inversora de flujo, realice un adecuado sellado. El fabricante de la válvula, en su ficha técnica debe proporcionar la información de tiempos mínimo de recorrido, sellado y la velocidad máxima permitida, [73].

2.5.5. Interpolación de pulso

Esta sección explicar la instalación, funcionamiento, mantenimiento y detección de fallas al medir los pulsos del PBE. Es tan importante, debido a que este es el patrón de referencia para la calibración, [74]. En los capítulos 4.2 y 4.6 de la API, puede encontrarse la información relacionada. Un mínimo número de pulsos deben ser recolectados, durante el recorrido de la esfera por los detectores. Con el diseño del probador, se busca incrementar la discriminación de la lectura de pulsos del medidor de flujo. Para alcanzar una incertidumbre del 0,01 %, [75].

2.5.5.1. Interpolación de pulso por doble cronometría

La interpolación de pulsos por doble cronometría, requiere contar el número total de pulsos del medidor de flujo Nm. Estos son generados, al paso de la esfera por los detectores midiendo los intervalos de tiempo, [77]. T1 y T2. T1 es el tiempo desde que el primer detector es accionado por el paso de la esfera. Se detiene cuando el detector numero dos es accionado. T2 es el intervalo de tiempo, entre las señales del primer y último detector. Los intervalos de tiempo Ti, correspondiente a pulsos de Nm, ilustrado en la figura 16. T2 correspondiente al número interpolado de pulsos (NI), se mide por una precisión reloj, [76].

$$N1 = Nm\left(\frac{T2}{T1}\right) \quad (1)$$

Se requiere que, entre T1 y T2 la discriminación sea mejor de ± 0.01 %. Los periodos de tiempo deberán, ser al menos 20.000 veces más grandes que el periodo de referencia Tc, [77]. La frecuencia del reloj (Fc). El fabricante debe garantizar que es lo suficientemente alta para poder acumular al menos 20.000 pulsos de reloj, durante la operación de prueba. [78].

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:
Preparación de Artículos XIII CIECT

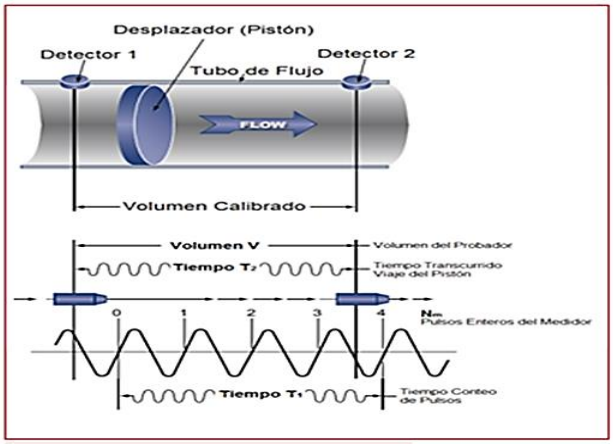


Figura 16. Diagrama de la Doble Cronometría [34].

2.6. Calibración

Los probadores de desplazamiento mecánico, bajo ninguna circunstancia, deben sobrepasar tiempos de calibraciones, proyectados a 60 meses, [79]. La calibración de un probador de tubo involucra la determinación del volumen base desplazado entre los detectores. En un PBE es la suma de volúmenes desplazados entre los detectores en un viaje de ida y vuelta, estableciéndose condiciones estándar de temperatura y presión. Los probadores pueden ser calibrados de dos formas: método waterdraw y por medidor maestro, [80].

2.6.1. Método de probador maestro

La función del medidor maestro es: servir como un enlace intermedio, entre el calibrador de tuberías que está siendo calibrado y el probador maestro, [81]. Puede ser un tanque de pruebas o un conjunto de tubos calibrados. Por lo tanto, es necesario verificar antes y después

la ejecución de calibración. Una restricción típica del método del medidor maestro es que no debe ser aplicable para probadores de tuberías con volúmenes pequeños, [82].

2.6.2. Método waterdraw (Método de extracción de agua)

El método wáterdraw consiste en pasar agua por el probador, que será recolectada en unos tanques. Es equivalente a volumen comprendido, entre los detectores del probador. Para esto se utiliza la válvula de 4 vías y otro tipo solenoide. La cual, indica el paso de la esfera y así permite alinear el flujo hacia los tanques. El capítulo 4.9 del MPMS de API, explica detalladamente el método de calibración. Para completar esta tarea, se hace uso de patrones de referencia del tipo de recipientes volumétricos de cuello graduado. Estos recipientes cuentan almacenamiento sobresaliente, debido al efecto viscosidad y la tensión de vapor en el tiempo de drenaje. Ver figura 16. En una prueba de medición estándar, el agua es el único medidor que puede ser usado para este método. El agua es seleccionada, debido a sus propiedades bien definidas y se dispone con facilidad, [83].

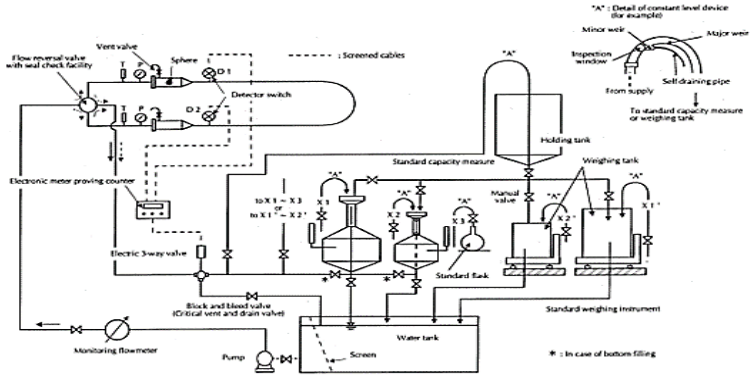


Figura 16. p&id método waterdraw [81].

3. CONCLUSIONES

- En este artículo se ha realizado una revisión de las categorías más relevantes del capítulo 4 del API. Creando un marco de referencia para futuras investigaciones. Para ello, se realizó la descripción de los componentes de arquitectura, informando al lector de la importancia y funcionalidad de los PBE. La documentación relacionada con los PBE está constituida en gran medida por información industrial, la cual abarca un 35% del total de las referencias; seguida de información académica como: artículos académicos, conforman un 30% del total de las referencias. Las demás referencias están divididas por: normas API MPMS con un 10%, y patentes con 15%: en términos de Patentes [84-91]. En tesis de grado, [92-99] se encuentra que corresponde al 10% de la información.
- De acuerdo con el estudio se obtiene un estado adecuado de conocimiento que puede servir como línea de base para investigaciones sobre PBE; específicamente, la documentación que aborda temas de principios básicos de los probadores y de diseño con mínimos conocimientos iniciales. De las referencias indagadas se evidencia que la mayoría son de probadores ya constituidos en la industria; de lo cual el lector puede seguir una información académica relacionada con la rama del mantenimiento o ingeniería.
- Resultado de la revisión bibliográfica del tema, se evidencia escasez de literatura en países de habla hispana; por lo tanto, hay oportunidad de seguir explorando investigaciones desde la API que contribuyan a mejorar en términos de normatividad ambiental, así como incorporación de tecnología innovadores susceptible de conducir a

nuevas patentes e innovación en instrumentación de PBE. En Colombia, la mayoría de proyectos desarrollados son a nivel industrial y la mayoría de la documentación aparece en la empresa colombiana ECOPETROL, por lo que la investigación será de utilidad para la ingeniería asociada consultora.

Referencias

[1] F. O. R. All, P. Equipped, and S. V. P. Controller, “Honeywell Enraf SVP Controller Operation Manual HONEYWELL ENRAF,” 2016.

[2] F. O. R. Model, “Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual HONEYWELL ENRAF,” 2016.

[3] R. Hernández Sampieri, C. Fernandéz Collado, and M. del P. Baptista Lucio, Metodologia de investigacion, 5th ed. México: Subsidiary of The McGraw-Hill Companies, Inc, 2010.

[4] F. Edition, “Petroleum Measurement Standards Chapter 4- Proving Systems,” no. October 1993, 2002.

[5] T. Edition, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 — Proving Systems Section 2 — Displacement Provers, no. September 2003. 2007.

[6] S. Edition, Manual of Petroleum. 2003.

[7] S. Edici, “Manual de Normas para Medición de Petróleo Capítulo 4 - Sistemas Probadores,” pp. 1–14, 1999.

[8] API MPMS Chapter 4 Section 9 Part 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 Calibrat," Api Mpms, no. December 2005, 2005.

[9] P. Systems, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4-Proving Systems Section 8-Operation of Proving Systems Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4-Proving Systems Section 8-Operation of, no. November. 2003.

[10] T. E. Draft, "Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4. 8 Operation of Proving Systems," 2018.

[11] J. D. W. HYDROCARBON LIQUID FLOW CALIBRATION SERVICE NIST Special Publication 250-1039 T. T. Yeh, Jesús Aguilera and Fluid, "Hydrocarbon Liquid Flow Calibration Service," 1999.

[12] A. Ignatian, "SMALL VOLUME CAPTIVE DISPLACEMENT PROVERS FOR NATURAL GAS LIQUIDS Alex Ignatian Flow Management Devices, LLC. 5225 South 37," vol. C, pp. 2–4, 1970.

[13] E. Stan-, "Liquid hydrocarbons – Dynamic measurement - Proving systems for volumetric meters - Part 1 : General principles Flytande kolväten - Dynamisk mätning - Kalibreringsmetoder för volymmätare - Del 1 : Allmänna principer (ISO 7278-1 : 1987)," 1995.

[14] D. Negeri and J. Perdagangan, Dalam negeri jenderal perdagangan direktorat. 2010.

[15] P. P. Jakubenas, "TP126-TheoryApplication of Pulse Interpolation TP0V001.pdf." p. 6, 2000.

[16] F. M. Devices, G. Unidirectional, C. Displacement, F. M. Devices, G. Unidirectional, and C. Displacement, "Flow Management Devices Raises the Bar in Small Volume Provin. Introducing the 4th Generation Unidirectional Captive Displacement Prover (SVP). Flow Management Devices," pp. 1–2, 2017.

[17] R. A. Romero and J. D. Wright, "Volume Metrology in Mexico and the USA," vol. M, 2013.

[18] C. Plant, “ENRAF ® SMALL VOLUME PROVER How the SVP Compares A Proven History of Continuous Improvement,” 2018.

[19] P. Scroll and D. For, “Calibration and Maintenance,” Meas. Saf., pp. 246–260, 2016.

[20] U. Captive and D. Provers, “Flow Management Devices, LLC Unidirectional Captive Displacement Provers,” 2005.

[21] E. Process, “Compact Prover Daniel ® Compact Prover,” no. February, 2008.

[22] P. Operation and P. Sizing, “Guidelines for the Selection and Operation of Small Volume Provers (SVP) with Micro Motion High Capacity ELITE CMF Coriolis Flow Meters,” 2007.

[23] O. Procedure and P. Procedures, “November 2005 Part 4 – Small Volume Provers (SVPs) Operating Procedures for the Use of SVPs When Testing Loading Rack Meters,” no. November, 2005.

[24] F. Management, “‘New Generation’ Unidirectional Captive Displacement Prover Simple to Operate and Easy To Service No Hydraulics,” p. 85040, 2010.

[25] J. Tonkonogij, A. Stankevicius, A. Bertasiene, and A. Tonkonogovas, “The new method for calibration and testing of the bell type prover,” 17th Int. Congr. Metrol. CIM 2015, vol. 7, pp. 10–12, 2015.

[26] E. P. Management, “Compact Prover FL OW MANAG EMENT D EVICES, LL C “New,” no. January, pp. 3–9, 2015.

[27] P. Number and D. O. C. Rev, “Unidirectional Captive Displacement Prover Operating Manual,” no. 602, 2008.

[28] R. Mimmi, “Dynamic measurement solutions in LNG custody transfer,” no. August, pp. 27–28, 2014.

[29] D. S. Weaver, “Design Considerations for LNG Measurement Solutions by Drew S. Weaver Daniel Measurement and Control, Inc. Houston,” pp. 17–18, 2013.

[30] DECC, “Guidance Notes for Petroleum Measurement Issue 8,” Dep. Energy Clim. Chang, vol. 1, no. 8, pp. 10–35, 2015.

[31] C. Schlumberge, “CALDON Hydrocarbon Calibration Laboratory Our unique, comprehensive, in-house ultrasonic technology center,” 2016.

[32] M. Standards, “Petroleum Measurement Standards Chapter 5-Metering,” Measurement, 1982.

[33] C. D. R. D. E. Y. G.- Creg, “Ministerio de Minas y Energia,” no. 12, p. 3, 1997.

[34] G. Topics, “Petroleum Measurement Manual,” Measurement, vol. 1, no. November, pp. 1–2, 1997.

[35] Ecopetrol, “PROCEDIMIENTO PARA LIQUIDACION DE PRODUCTOS CON MEDICION DNAMICA,” 2013.

[36] L. J. Chisholm, “PROCEDIMIENTO PARA LIQUIDACION DE PRODUCTOS CON MEDICION DINAMICA ECOPETROL.” 2007.

[37] Y. F. Basrawi, “Crude and hydrocarbon measurement technologies,” Emerg. Technol. Updat., vol. 426 II, pp. 137–148, 2002.

[38] D. Contents, “PROCEEDINGS INDONESIAN PETROLEUM ASSOCIATION,” vol. 2, no. May 1984, 2006.

[39] L. A. Larson, “Auditing liquid measurement,” vol. m, no. 7050, pp. 816–819, 2002.

[40] P. Prover, B. Prover, D. Wright, and E. Mattingly, Calibration Services for Gas Flow Meters. 2011.

[41] J. G. Pope, J. D. Wright, A. N. Johnson, and C. J. Crowley, “Liquid Flow Meter Calibrations with the 0.1 L/s and the 2.5 L/s Piston Provers,” 2013.

[42] B. D. J. Rudroff and S. Land, “Achieving Better Liquid Measurement Accuracy,” no. March, pp. 22–25, 2013.

[43] I. National, C. For, M. Of, H. Fluids, and C. Transfer, “Ministry of Oil Iraqi National Code for Measurement of Hydrocarbon Fluids Fiscal & Custody Transfer,” no. October, pp. 1–69, 2007.

[44] J. Kutin, G. Bobovnik, and I. Bajsić, “Dynamic pressure corrections in a clearance-sealed piston prover for gas flow measurements,” Metrologia, vol. 50, no. 1, pp. 66–72, 2013.

[45] M. von der Heyde, G. Schmitz, and B. Mickan, “Modeling of the German National Standard for High Pressure Natural Gas Flow Metering in Modelica,” pp. 663–670, 2015.

[46] T. O. F. Counter, T. O. P. Counter, T. O. Rate, and O. F. Flow, “Proving Systems,” 2018.

[47] A. García-Berrocal, C. Montalvo, J. Blázquez, and M. Balbás, “Flow measurement of liquid hydrocarbons with positive displacement meters: The correction for slippage,” Meas. Sci. Technol., vol. 24, no. 5, 2013.

[48] A. T. J. Hayward, “PIPE POVERS A USERS’S MANUAL.” 1991.

[49] A. S. F. T. MATERIALES, “SIMPOSIUM ON BULK QUANTITY MEASUREMENT.” 1958.

[50] M. J. Shlomchik, “NORTH SEA FLOW MEASUREMENT WORKSHOP,” Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 84, no. 24, pp. 9150–9154, 1987.

[51] loy upp; paul j. LaNasa, “fLUID FLOW MEASUREMENT a practical guide to accurate flow measurement.” 2002.

[52] B. G. Lipták and K. Venczel, “Oil-Custody Transfer,” Meas. Saf., pp. 394–411, 2016.

[53] M. Von Der Heyde, G. Schmitz, and B. Mickan, “Using Modelica to investigate the dynamic behaviour of the German national standard for high pressure natural gas flow metering,” Meas. Sci. Technol., vol. 27, no. 8, 2016.

[54] F. S. M. richard E. Thompson, “olifield processing volume two: crude oil.” 1995.

[55] A. Bahadori, Oil and Gas Pipelines and Piping Systems. 2017.

[56] M. Ali, T. Bosse, K. V Hindriks, M. Hoogendoorn, C. M. Jonker, and J. Treur, Recent trends in applied artificial intelligence : 26th International Conference on Industrial Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems, IEA/AIE 2013, Amsterdam, the Netherlands, June 17-21, 2013 : proceedings. Berlin, Heidelberg : Springer, 2013.

[57] Z. Mrša, “ISKUSTVA U RADU S „ COMPACT PROVER “ -om,” 2016.

[58] D. J. Seiler and B. P. Drive, “THEORY AND APPLICATION OF PULSE INTERPOLATION TO PROVER SYSTEMS Class # 4140,” vol. 2, 2009.

[59] K. Steward, “Bi-Directional Meter Proving Calculations,” no. January, 2002.

[60] P. Dunga, “Terminal Automation System,” Int. J. Innov. Res. Technol., vol. 2, no. 6, pp. 155–161, 2015.

[61] F. M. Erik Smits and J. C. Jos Rath, “Calibration of prover tanks making use of a Coriolis mass flow meter as the master meter,” Int. J. Metrol. Qual. Eng., vol. 3, no. 2, pp. 79–84, 2012.

[62] C. Sierra and G. Covelli, “Medición Dinámica,” pp. 36–43, 1986.

[63] L. D. E. La and R. Piura, “Universidad nacional de piura,” pp. 1–110, 2011.

[64] M. Vandiver, “Proving coriolis flowmeters,” no. October, 1998.

[65] A. A. Yavuz, B. Glas, M. Ihle, H. Hacioglu, and K. Wehefritz, “(12) Patent Application Publication (10) Pub. No.: US 2014/0270163 A1 METHOD AND APPARATUS FORA BDIRECTIONAL METER PROVING SYSTEM,” vol. 1, no. 19, 2014.

[66] S. K. Whitman, “Proving Mass Flow Meters with Small Volume Provers O perational Experiences Proving Mass Flow Meters with Small Volume Provers,” no. 281, 1996.

[67] A. D. E. Agua et al., “Universidad nacional de ingenieria,” 2003.

[68] I. Introduced et al., “OPERATIONAL EXPERIENCE WITH SMALL VOLUME PROVERS Steve Whitman Coastal Flow Liquid Measurement, Inc. 2222 Bay Area Blvd., Suite 200 Houston, Texas 77058,” pp. 582–586, 2000.

[69] S. Probadores, “Manual de medición de hidrocarburos capítulo 4 sistemas probadores,” 2008.

[70] V. D. E. Suministro, M. Gerencia, S. M. D. E. Medici, D. E. H. Capítulo, C. Generales, and V. Versi, “HIDROCARBUROS CONDICIONES GENERALES Y VOCABULARIO,” 2007.

[71] M. Systems, “Flow Meters,” 2007.

[72] F. Flow, R. Equipment, and S. Report, “Use liquid ultrasonic meters for custody transfer This technology is gaining widespread acceptance in the field,” no. August, 2007.

[73] B. D. Lee, “June 2005 Part 2 – Small Volume Provers History, Design, and Operation,” no. June, 2005.

[74] R. Kalivoda, “Proving Liquid Ultrasonic Flow Meters for Custody Transfer Measurement,” pp. 1–12, 2008.

[75] J. Fredy, R. Bejarano, J. Herney, and B. Salinas, “DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN PARA LA EMPRESA ATLAS ENGINEERING,” 2013.

[76] J. H. B. Salinas, “El Probador Bidireccional de Esfera, Concepto y Principio de Funcionamiento,” pp. 1–5, 2014.

[77] Andres Escobar, Luis Marin, Harold Vacca. Ingenieria solidaria. Instrumentación para sistemas automatizados de medición dinámica de hidrocarburos Instrumentation for Automated Oil and Gas Dynamic Measurement Systems. Vol. 14, No. 26, 2018.

[78] C. E. Jeronymo, S. B. Araújo, and V. Y. Aibe, “Implementation of double-timing pulse interpolation applied to compact piston provers,” Prod. Produção, vol. 11, pp. 30–40, 2010.

[79] A. H. Jorge, “Hidraulica De Tuberias Y Canales,” p. 516, 2007.

[80] B. S. Type, “Accurate Flowmeters & Instrumentation Pvt . Ltd.,” 2011.

[81] E. N. Computador et al., “Universidad tecnológica de la mixteca,” 2018.

[82] C. Information, “« Oil & Gas Systems Baltia , LTD »,” 2008.

[83] P. Systems, “Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4-Proving Systems Section 8-Operation of Proving Systems Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4-Proving Systems Section 8-Operation of,” Policy, no. November, 2003.

[84] D. Seiler, “Liquid Meter Provers 2015 RMMS What is Petroleum Fiscal Flow,” 2015.

[85] C. De Procesos, “Medicion de flujo de hidrocarburos para transferencia de custodia,” 2012.

[86] I. F. H. V. L. M. R. VILLEGAS, “ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS VOLUMÉTRICAS ENTRE LA PRODUCCIÓN FISCALIZADA Y LA PRODUCCIÓN FISCALIZADA ENTREGADA AL RAMAL CONONACO-AUCA CENTRAL POR LAS EMPRESAS OPERADORAS. Proyecto,” 2013.

[87] D. A. L. Guerrero and E. R. Carrizalez, “Tecnología Medidores de Flujo Másico,” 2009.

[88] F. Technologies, “Metering, Proving and Accuracy FMC technologies,” vol. 0, pp. 1–82, 2007.

[89] E. Latacunga, T. Brito, S. Bladimir, V. Obando, and N. Alberto, “AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN SISTEMA DE CALIBRACIÓN Y MEDICIÓN DE FLUJO DE PETRÓLEO EN LA ESTACIÓN CENTRAL DEL CAMPO SHUSHUFINDI,” 2010.

[90] M. A. Toapanta Fernandez, “ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA EL REEMPLAZO DE MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO POR MEDIDORES MÁSICOS TIPO CORIOLIS EN LAS UNIDADES DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA DE HIDROCARBUROS (LACT) EN EL CAMPO SINGUE. PROYECTO,” Estud. Factibilidad para la creación una operadora ecoturismo en la Ciudad Otavalo, p. 244, 2008.

[91] C. D. E. Ingenier et al., “AUTOMATIZACIÓN DE UNA UNIDAD DE CUSTODIA DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA (LACT) PARA LA MEDICIÓN DE PETRÓLEO MEDIANTE LA PUESTA EN SERVICIO DE UN COMPUTADOR DE FLUJO,” 2008.

[92] Y. Min et al., “METHOD AND APPARATUS FOR A BDIRECTIONAL METER PROVING SYSTEM,” vol. 2, no. 12, 2017.

[93] I. Mecánico Director JORGE LUÍS CACHÓN Ingeniero Mecánico, “ASEGURAMIENTO METROLOGICO Y TRAZABILIDAD EN LA INDUSTRIA DEL GAS LICUADO DEL PETRÓLEO UBALDO JOSÉ MUÑOZ CABALLERO Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de,” 2006.

[94] R. A. Romero, “INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACION DE UN PROBADOR VOLUMÉTRICO BIDIRECCIONAL,” 2001.

[95] I. Recommendation, “Organisation Internationale de Métrologie Légale Pipe provers for testing measuring systems,” vol. 1996, 1996.

[96] M. Frey, “Liquid Measurement Systems Design,” 2008.

[97] R. H. Pfrehm, “UNDIRECTIONAL METER PROVER 3,397,570 Raymond H. Pfrehm, Houston, Tex,” pp. 1–4, 1968.

[98] P. E. M. Blix, “United States Patent (19) UNIDIRECTIONAL PEPELINE PROVER,” no. 19, 1975.

[99] T. Adjunto et al., “Banco de ensayos hidráulico para experimentar " in-vitro " prótesis e injertos de los vasos sanguíneos (Recurso en Internet, 2009) [WorldCat . org] Informe de Zotero Ingeniería de control moderna Instrumentación industrial Introducción a la Mecánica ,” pp. 1–7, 2011.