



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

ESPE – SEDE LATACUNGA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA VERIFICAR MEDICIÓN DE FLUJO DE LÍQUIDOS CLAROS SEGÚN NORMAS INTERNACIONALES.

OBJETIVO GENERAL

DISEÑAR Y CONSTRUIR UN BANCO DE PRUEBAS PARA VERIFICAR MEDICIÓN DE FLUJO DE LÍQUIDOS CLAROS SEGÚN NORMAS INTERNACIONALES.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Desarrollar la metodología para verificar.
- ▶ Analizar el método de medición a emplear.
- ▶ Construir un banco de pruebas de medición de flujo de líquidos claros.
- ▶ Verificar la Norma en el Banco de Pruebas Didáctico aplicando la metodología.



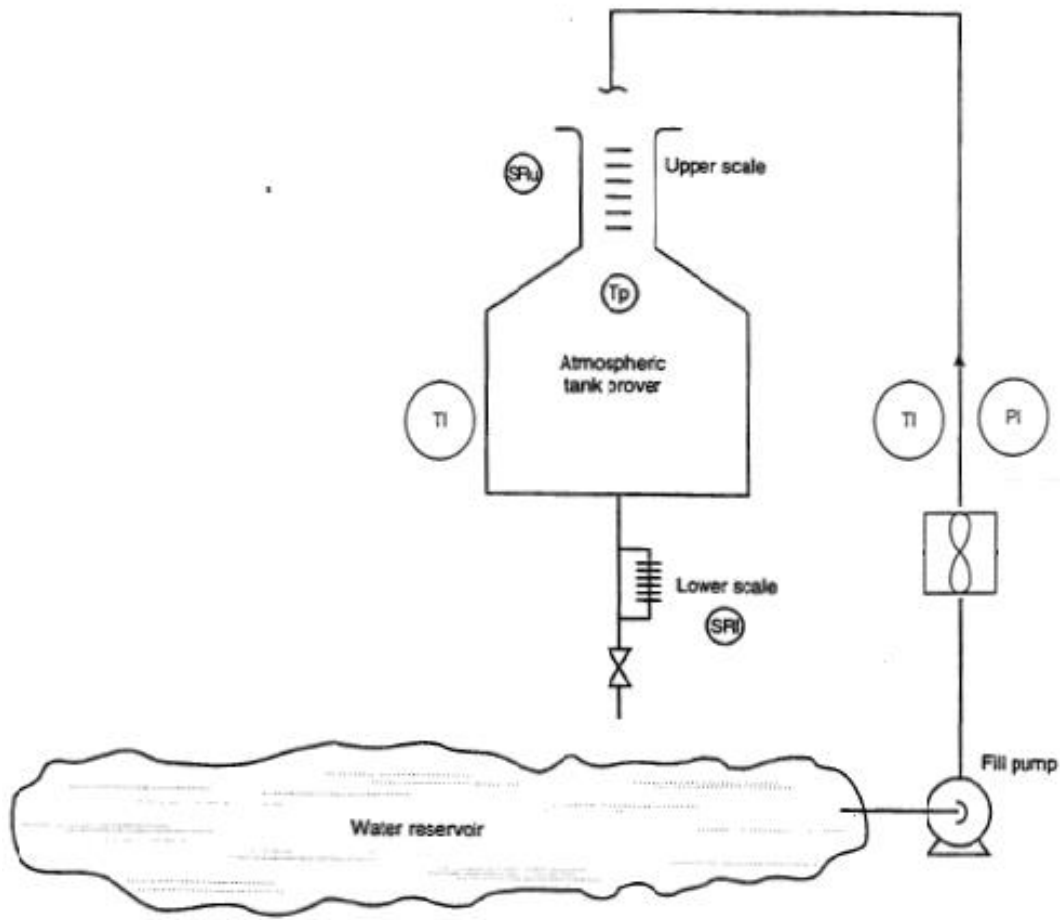
DESARROLLO DEL
PROYECTO DE TESIS PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE TERCER NIVEL

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA VERIFICAR MEDICIONES DE FLUJO DE LÍQUIDOS CLAROS APLICANDO NORMA INTERNACIONAL

La metodología utilizada en este proyecto para la medición de flujo, es el Método Tank Prover que consiste en determinar o medir un volumen a través de un proceso de recirculación del fluido, ver norma de referencia API MPMS 4,4.

- ▶ API MPMS Capítulo 4, Sección 4, 1998 Operación de los Sistemas de Prueba. Tanque Probador.
- ▶ API MPMS Capítulo 5, Sección 3, 2005 Medición de Hidrocarburos Líquidos a través de Medidores de Turbina.
- ▶ API MPMS Capítulo 12, Sección 2, Parte 1, 1995 Cálculo de Cantidades Petroleras utilizando Métodos Dinámicos y Factores de Corrección de Volúmenes (Introducción).

Diagrama de Operación del Sistema de Medición Volumétrica por el método Tank Prover.



Medición de Hidrocarburos Líquidos a través de Medidores de Turbina

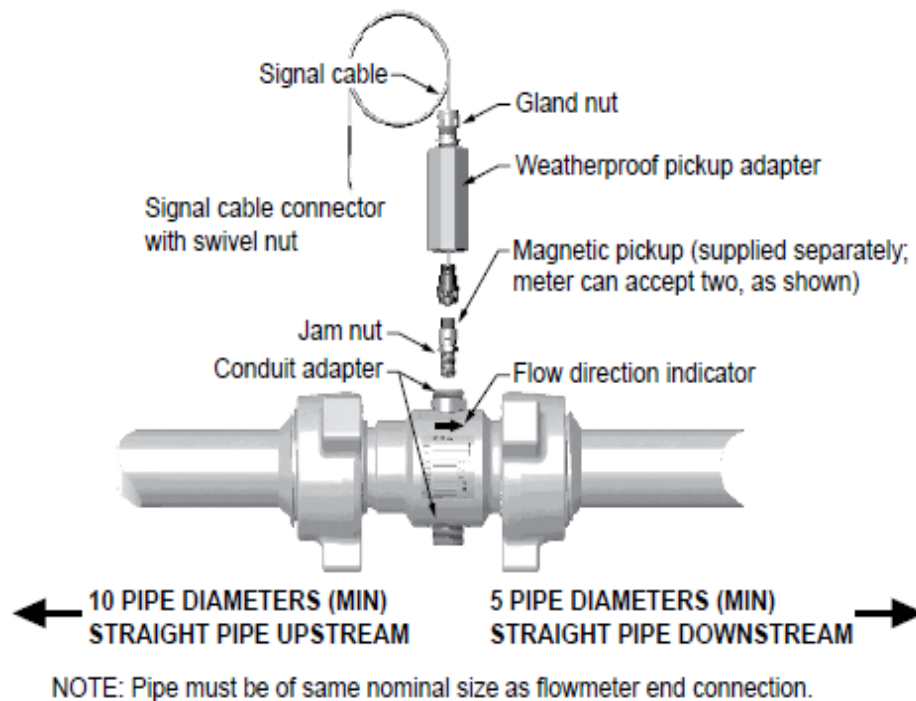
Medidor Dinámico de Turbina



Analizador de Flujo



Medición de Hidrocarburos Líquidos a través de Medidores de Turbina



Instalación (Medidor de Turbina / Analizador de flujo)

Cálculo de Cantidades Petroleras utilizando Métodos Dinámicos y Factores de Corrección de Volúmenes (Introducción).

Cálculo del factor de medición.

El factor de medición para medidores dinámicos de flujo está dado por:

$$\mathbf{MF} = \frac{\text{Volumen del Probador} * \text{CTS} * \text{CPS} * \text{CTL}_p * \text{CPL}_p}{\frac{\text{Promedio de pulsos}}{\text{K - Factor}} * \text{CTL}_m * \text{CPL}_m}$$

Donde:

- CTL_p** : Corrección por efecto de la temperatura en el líquido en el probador.
- CPL_p** : Corrección por efecto de la presión en el líquido en el medidor.
- CTL_m** : Corrección por efecto de la temperatura en el líquido en el probador.
- CPL_m** : Corrección por efecto de la presión en el líquido en el medidor.

Cálculo de los Factores de Corrección.

Calculo del CTS.

El factor de corrección por efecto de la temperatura en el acero está dado por:

$$\mathbf{CTS} = 1 + [(T - T_b) \times Gc]$$

Donde:

T : Temperatura del fluido en el probador. [F]

T_b : Temperatura base. [F].

Gc : Coeficiente de expansión cúbica por grado de temperatura del material del cual el probador está hecho entre T_b y T. [F⁻¹], ver tabla 3.10.

Cálculo de los Factores de Corrección.

Tabla 3.10 Coeficientes de expansión térmica para acero (Gc, Gl, Ga)

TIPO DE ACERO	COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA	
	(POR °F)	(POR °C)
A. COEFICIENTE CUBICO, Gc		
ACERO DULCE	1.86E-05	3.35E-05
ACERO INOXIDABLE 304	2.88E-05	5.18E-05
ACERO INOXIDABLE 316	2.65E-05	4.77E-05
ACERO INOXIDABLE 17-4 PH	1.80E-05	3.24E-05
B. COEFICIENTE DE AREA, Ga		
ACERO DULCE	1.24E-05	2.23E-05
ACERO INOXIDABLE 304	1.92E-05	3.46E-05
ACERO INOXIDABLE 316	1.77E-05	3.18E-05
ACERO INOXIDABLE 17-4 PH	1.20E-05	2.16E-05
C. COEFICIENTE LINEAL, Gl		
ACERO DULCE	6.20E-06	1.12E-05
ACERO INOXIDABLE 304	9.60E-06	1.73E-05
ACERO INOXIDABLE 316	8.83E-06	1.59E-05
ACERO INOXIDABLE 17-4 PH	6.00E-06	1.08E-05

Cálculo de los Factores de Corrección.

Cálculo del CPS.

El factor de corrección por efecto de la presión en el acero está dado por:

$$\mathbf{CPS} = 1 + \frac{(P - P_b) \times ID}{E \times WT}$$

Donde:

P : Presión del fluido en el probador. [PSI]

ID : Diámetro interno del probador. [inch]

E : Módulo de elasticidad del acero. [PSI], ver tabla 3.11.

WT : Espesor de la pared del probador. [inch]

Cálculo de los Factores de Corrección.

Tabla 3.11 Módulos de elasticidad para acero (PSI, BAR, kPa)

TIPO DE ACERO	MODULO DE ELASTICIDAD		
	(PSI)	(BAR)	(kPa)
ACERO DULCE	3.00E+07	2.07E+06	2.07E+08
ACERO INOXIDABLE 304	2.80E+07	1.93E+06	1.93E+08
ACERO INOXIDABLE 316	2.80E+07	1.93E+06	1.93E+08
ACERO INOXIDABLE 17-4 PH	2.85E+07	1.97E+06	1.97E+08

Cálculo de los Factores de Corrección.

Calculo del CTL.

El factor de corrección por efecto de la temperatura en el líquido; es una función del °API @ 60°F y de la temperatura; f (°API @ 60°F; T), se determina de la siguiente manera:

- a. Determinar el °API @ 60°F por medio de la gravedad y temperatura observadas.
 - ▶ Utilizar, **Tabla 5A – 2004** (Generalized Crude Oils and JP-4 Correction of Observed API Gravity to API Gravity at 60 °F); API MPMS Capítulo 11, Sección 1, Volumen I, Volume Correction Factors.

- b. Registrar la temperatura del medidor, tank prover; y con el °API @ 60°F determinar el CTL_m , CTL_p respectivamente.
 - ▶ Utilizar **Tabla 6A – 2004** (Generalized Crude Oils and JP-4 Correction of Volume to 60 °F Against API Gravity at 60 °F); API MPMS Capítulo 11, Sección 1, Volumen I, Volume Correction Factors.

Cálculo de los Factores de Corrección.

Calculo del CPL.

El factor de corrección por efecto de la presión en el líquido; está dado por:

$$\text{CPL} = \frac{1}{1 - P \times F_p \times 10^{-5}}$$

Donde:

P_p : Presión del fluido en el probador. [PSI]

P_m : Presión del fluido en el medidor. [PSI]

F_{pp} : Factor de compresibilidad en el probador. [PSI⁻¹].

F_{pm} : Factor de compresibilidad en el medidor. [PSI⁻¹].

Cálculo de los Factores de Corrección.

El factor de compresibilidad es una función del °API @ 60°F y de la temperatura; f (°API @ 60°F; T), se determina de la siguiente manera:

a. Determinar el °API @ 60°F por medio de la gravedad y temperatura observadas.

► Utilizar, **Tabla 5A – 2004** (Generalized Crude Oils and JP-4 Correction of Observed API Gravity to API Gravity at 60 °F); API MPMS Capítulo 11, Sección 1, Volumen I, Volume Correction Factors.

b. Registrar la temperatura del medidor, tank prover y con el °API @ 60°F determinar el factor de compresibilidad del medidor (F_{pm}), como también para el tank prover (F_{pp}).

► Utilizar, Tablas API MPMS Capítulo 11, Sección 2, Parte 1, Compressibility Factors for Hydrocarbons: 0 – 90 °API Gravity Range.

Cálculo de los Factores de Corrección.

Otra manera de determinar el CPL en forma manual es a través del uso de tablas.

- ▶ Primeramente se debe determinar un factor base, para el cual se debe conocer la temperatura y la gravedad **°API @ 60°F**, con estos datos buscamos en las tablas II de la API (Measurement of Petroleum Liquid Hydrocarbons by PD Meter). Ver anexos 3.12.
- ▶ Una vez encontrado el factor base y con la presión se buscamos en las tablas Compressibility Factors – Liquid, CPL, API STANDARD 1101, TABLE II, APPENDIX B. Ver anexos 3.13.
- ▶ Por ejemplo, al tener un fluido con una temperatura de 80 °F y una gravedad **°API @ 60°F** de 10 grados, se obtiene un factor base de 0.33 de las tablas II de la API.
- ▶ Con el factor base encontrado y con una presión de fluido de 15 psi, el valor de CPL es 1.00005.

Plantilla de reporte de verificación de medidores dinámicos de flujo Método Tank Prover.

REPORTE DE VERIFICACION DE MEDIDORES DINAMICOS DE FLUJO							
METODO: TANK PROVER							
CLIENTE				FECHA			
UBICACIÓN				17/12/2015			
DATOS MEDIDOR		DATOS FLUIDO		DATOS REPORTE			
Tipo de Factor	METER FACTOR	Tipo de Fluido	AGUA	Reporte No:	1		
T.Comp. Pulses	NO	Gravedad Observada	11,4				
Tipo	TURBINA	Temperatura Observada	82,0				
Marca	NUFLO	API @ 60 °F	10,3				
Modelo	N/A						
Serie							
Tag /Codigo	MTP-ESPE-LTGA-001						
Tamaño	IN 1" : OUT: 1"						
ANSI	ROSCADA						

Plantilla de reporte de verificación de medidores dinámicos de flujo Método Tank Prover.

DATOS TANQUE PROBADOR DE VOLUMEN							
		BPV:	50,00000	gal	0,18925	m3	
		Tipo:	J				
		Serie:	NA				
		ID:		inch	0	Mm	
		WT:		inch	0	Mm	
		Gc:	0,0000265	1/°F	0,0000477	1/°C	
		E:	28000000	Psi	193050,19	MPa	

Plantilla de reporte de verificación de medidores dinámicos de flujo Método Tank Prover.

CALCULOS TANQUE PROBADOR DE VOLUMEN	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	AVERAGE
Lectura de escala superior [inch 3]					
Lectura de escala superior [m3]					
Lectura de escala inferior [inch 3]					
Lectura de escala inferior [m3]					
Medida del volumen despreciable, ajustado (BPVa) [gal]					
Medida del volumen despreciable, ajustado (BPVa) [m3]					
Presión tanque prover [Psi]					
Presión tanque prover [kPa]					
Temperatura Tanque Prover [° F]					
Temperatura Tanque Prover [° C]					
CTSp (CTS for prover)					
CPSp (CPS for prover)... atmospheric					
CTLp (CTL for prover)					
CPLp (CPL for prover)					
CCFp (CTSp * CPSp * CTLp * CPLp)					
GSVp (BPVa * CCFp) [gal]					
GSVp (BPVa * CCFp) [m3]					

Plantilla de reporte de verificación de medidores dinámicos de flujo Método Tank Prover.

CALCULOS PARA MEDIDOR					
	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	AVERAGE
Rata de flujo en (gpm)					
Rata de flujo en (m3/h)					
Nominal K-Factor, Indic.P/Gal, (NKF)					
Volumen indicado del contador (lvm) [gal]					
Volumen indicado del contador (lvm) [m3]					
Medida de la temperatura [°F]					
Medida de la temperatura [°C]					
Medida de la presión [Psi]					
Medida de la presión[kPa]					
CTLm (for meter)					
CPLm (CPL for meter)					
CCFm (CTLm * CPLm)					
ISVm (lvm * CFm) [gal]					
ISVm (lvm * CCFm) [m3]					
CALCULOS DEL FACTOR DEL MEDIDOR					
	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	AVERAGE
MF (Intermediate meter factor(GSVp_/ISVm)					
CPL (for assumed average conditions)	-	-	-	-	-
KF (NKF)/(MF)					
PROMEDIO Y REPETIBILIDAD					
PROMEDIO KF	# ₁ DIV	PPG		# ₁ DIV	PPB
PROMEDIO MF				# ₁ DIV/0!	
REPETIBILIDAD				# ₁ DIV/0!	

Análisis del Método de Medición a Emplear.

ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y SELECCIÓN DE LA NORMA A APLICAR PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO.

En la construcción del banco de pruebas para verificación de medición de flujo de líquidos claros se aplica estándares de calidad internacional como son las Normas de Referencia API, aceptadas en el medio hidrocarburífero.

NORMAS INTERNACIONALES DE REFERENCIA API MPMS (Manual of Petroleum Measurement Standard)


- ▶ API MPMS Capítulo 1, 1994 Vocabulario.
- ▶ API MPMS Capítulo 4, Sección 4, 1998 Operación de los Sistemas de Prueba. Tanque Probador.
- ▶ API MPMS Chapter 4, Section 8, 1995 Reafirmado 2007 Operación de Sistema de Prueba.
- ▶ API MPMS Chapter 4, Section 9, 2005 Reafirmado 2010 Sistema de Prueba – Método de Calibración para Desplazamiento y Tanque Probador Volumétrico, Parte 1 Introducción a la determinación del Volumen de Desplazamiento y Tanque Probador.
- ▶ API MPMS Capítulo 5, Sección 1, 2005 Consideraciones Generales para Medición por Medidores.
- ▶ API MPMS Capítulo 5, Sección 3, 2005 Medición de Hidrocarburos Líquidos a través de Medidores de Turbina.

NORMAS INTERNACIONALES DE REFERENCIA API MPMS (Manual of Petroleum Measurement Standard).

- ▶ API MPMS Capítulo 5, Sección 4, 2005 Equipamiento y accesorios para medidores de líquido.
- ▶ API MPMS Capítulo 6, Sección 1, 1991 Lease Automatic Custody Transfer (LACT) Systems.
- ▶ API MPMS Capítulo 6, Sección 7, 1991 Sistemas de Medición de Hidrocarburos Viscosos.
- ▶ API MPMS Capítulo 7, 2001 Reafirmado 2007 Determinación de la Temperatura.
- ▶ API MPMS Capítulo 9, Sección 1, 2002 Método de Prueba del Hidrómetro para la Densidad, Densidad Relativa, o la Gravedad del Crudo API y Productos Derivados.
- ▶ API MPMS Capítulo 9, Sección 3, 2002 Método de Prueba del Hidrómetro para la Densidad, Densidad Relativa, o la Gravedad del Crudo API y Productos Derivados.

NORMAS INTERNACIONALES DE REFERENCIA API MPMS (Manual of Petroleum Measurement Standard).

- ▶ API MPMS Capítulo 11, 2004 Tablas de Medición de Petróleo.
- ▶ API MPMS Capítulo 12, Sección 2, Parte 1, 1995 Cálculo de Cantidades Petroleras utilizando Métodos Dinámicos y Factores de Corrección de Volúmenes (Introducción).
- ▶ API MPMS Capítulo 12, Sección 2, Parte 3, 1998 Cálculo de Cantidades Petróleo utilizando Métodos Dinámicos y Factores de Corrección de Volúmenes (Introducción).
- ▶ API MPMS Chapter 13, Section 1, 1985 Reaffirmed 2011 Statistical Concepts and Procedures in Measurement.
- ▶ API MPMS Chapter 13, Section 2, 1994 Reaffirmed 2011 Statistical Method of Evaluating Meter Proving Data.
- ▶ NTE INEN – ISO/IEC 17020:2012; 6 / 7.



Construcción de un Banco de Pruebas de Medición de Flujo de Líquidos Claros.

Construcción de un Banco de Pruebas de Medición de Flujo de Líquidos Claros.



LISTA DE PARTES DEL BANCO DE PRUEBAS

- Válvula de pie.
- Adaptador para tanque
- Tanque de alimentación
- Válvula de bloqueo-compuerta
- Unión universal
- Niple corrido
- Codo 90°
- Válvula de bola
- Unión universal
- Unión
- Tubería de 1" en PVC (CED 80)
- Turbina
- Tee-flujo recto
- Termómetro
- Tee-flujo recto
- Manómetro
- Tee- flujo perpendicular
- Válvula check
- Bomba centrífuga
- Equipo patrón volumétrico "Seraphin" de 50 gal.
- Accesorios, etc

Verificación de la Norma en el Banco de Pruebas Didáctico Aplicando la Metodología.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Para la elaboración del procedimiento o metodología empleado en el banco de pruebas para medir volumen, hace referencia especialmente en las recomendaciones de las normas API, donde se aplica el método Tank Prover API MPMS 4.4; utilizando un medidor dinámico Tipo Turbina API MPMS 5.3; y en las normas anteriormente indicadas en el capítulo 1.
- El método empleado para la medición de volumen que cumpla estándares de calidad internacional es el método Tank Prover de la API MPMS 4.4, aceptados en nuestra legislación ecuatoriana por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero “ARCH”, que consiste en hacer recircular un fluido desde un tanque de alimentación hacia el tanque probador volumétrico y viceversa.
- El proyecto fue construido y analizado para proporcionar un sistema práctico funcional didáctico, capaz de medir volumen de flujo de líquidos claros con una repetibilidad del 0.02 % determinado por el tanque probador volumétrico marca Seraphin.

CONCLUSIONES

- La construcción del banco de pruebas didáctico fue de tal manera que cada accesorio, elemento y equipos de medición estén ubicados según recomienda la norma API para validar el volumen medido con estándares de calidad aceptados en el medio nacional e internacional en la medición de volumen en fluidos.
- En la práctica comúnmente se requiere de un mínimo dos corridas consecutivas para asumir como válidas si se obtiene una desviación entre el 0,05 %, según recomienda la norma API MPMS 4.8.
- Las cartas de control o estadísticos aplican únicamente a los medidores ubicados en puntos de fiscalización para medición de transferencia y custodia, como también para determinar los límites de las bandas del medidor, ver API MPMS 13.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Para la validez y confiabilidad de los instrumentos en la medición es necesario calibrarlos trimestralmente cuyo período de tiempo es aceptado por la ARCH, no obstante puede también ser calibrado antes considerando su frecuencia de uso o necesidad e importancia que implique en un proceso.
- Antes de empezar a utilizar el banco de pruebas, se debe observar que en el interior del tanque de alimentación se encuentre libre de partículas o residuos sólidos que pudiesen a travesar la canasta de la válvula de pie ubicada en el interior del tanque; que hace la función de filtro.
- Al realizar la primera prueba o corrida oficial en el banco de pruebas, debe estar previamente humedecidas las paredes del interior del tanque probador volumétrico y empaquetado todo el sistema.

RECOMENDACIONES

- Si la repetibilidad del factor del medidor es inaceptable, podría ser necesario llevar a cabo corridas de pruebas adicionales, si la repetibilidad está entre el rango prescrito estos resultados podrían ser usado, pero si la repetibilidad permanece inaceptable sería necesario parar la prueba y mirar las causas del problema, según recomienda la norma API MPMS 4.8.
- El caudal de operación del banco de pruebas debe estar comprendido entre la rata de operación del medidor dinámico tipo turbina según especificaciones de dato de placa para su correcto funcionamiento.
- Si se requiere máxima exactitud en las mediciones, el medidor debe calibrarse frecuentemente al igual que la instrumentación como son los indicadores de presión y temperatura cuyas lecturas intervienen en el algoritmo de cálculo.

GRACIAS