

41126
118



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGÓN"

CALIBRACIÓN DE UN MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO MEDIANTE UNA OLLA PATRÓN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
P R E S E N T A :
URIBE REYNOSO EDUARDO

ASESOR:
ING. RODRIGO OCON VALDÉS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MÉXICO

2003

2



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

**CALIBRACIÓN DE
UN MEDIDOR DE
DESPLAZAMIENTO
POSITIVO
MEDIANTE UNA
OLLA PATRÓN**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Agradezco a mis padres por todo el apoyo que me han brindado hasta este momento, así como sus consejos y experiencias. Y que me formaron un carácter y criterios para así determinar mis objetivos como es este el de titularme como ingeniero. Por otra parte pero no menos importante, a mis profesores porque desde la primaria y hasta la fecha me aportaron sus conocimientos, y fomentaron la responsabilidad. Y otro grupo importante son mis amigos que hasta el momento siguen apoyándome.

A todas estas personas les dedico esta tesis y reiterares todo mi afecto confianza y amistad.

POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

INDICE		PAGINA No.
CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN		
1.1	INTRODUCCION GENERAL	1
1.2	OBJETIVO	2
1.3	JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO II : CONCEPTOS BÁSICOS DE METROLOGIA		
2.1	INTRODUCCIÓN	4
2.2	METROLOGIA	4
2.3	MAGNITUD (FÍSICA Y QUÍMICA)	4
2.4	UNIDAD	5
2.5	SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES	5
2.6	SISTEMA MÉTRICO DECIMAL	8
2.7	LA ESCALA KELVIN Y CELSIUS	9
2.9	PRINCIPIO DE LA HOMOGENEIDAD	10
2.10	CONVERSIÓN DE UNIDADES	11
2.11	VOCABULARIO DE METROLOGIA	11
2.11.1	REGLAS PARA LA ESCRITURA DE LOS SÍMBOLOS DE LAS UNIDADES SI	12
2.11.2	REGLAS PARA LA ESCRITURA DEL SIGNO Y LOS NUMEROS	13
2.11.3	EVITAR CONFUNDIR LAS MAGNITUDES CON LAS UNIDADES U OTROS TERMINOS	13
2.11.4	CASTELLANIZAR LOS NOMBRES PROPIOS DE LAS UNIDADES ES CONTRARIO AL CARACTER UNIVERSAL DEL SI	13
2.11.5	EVITAR EL USO DE BARBARISMOS O CONCEPTOS TRADUCIDOS INCORRECTAMENTE	14
2.12	ERRORES DE MEDIDA	14
2.13	INCERTIDUMBRE	15
2.14	PRECISION	16
2.15	EXACTITUD	17
2.16	REPETIBILIDAD	17
2.17	REPRODUCIBILIDAD	17
2.18	PROCESO DE MEDIDA	18
2.19	MEDIDAS DE DISPERSION	18
	2.19.1 MEDIA	18
	2.19.2 VARIANCIA	19
2.20	MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS	20

CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

	PAGINA No.	
3.1	INTRODUCCIÓN	23
3.2	MECÁNICA DE FLUIDOS	23
	3.2.1 ESTÁTICA DE FLUIDOS	23
	3.2.2 DINÁMICA DE LOS FLUIDOS	23
3.3	NÚMERO DE REYNOLDS	24
3.4	FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO	25
	3.4.1 FLUJO LAMINAR	25
	3.4.2 FLUJO TURBULENTO	25
	3.4.3 FLUJO DE TRANSICIÓN	26
3.5	PERFIL DE VELOCIDADES	26
3.6	DENSIDAD.	28
3.7	PESO ESPECIFICO	28
3.8	PRESIÓN	29
3.9	COMPRESIBILIDAD	29
3.10	ELASTICIDAD	30
3.11	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA	30
3.12	VISCOSIDAD	31
	3.12.1 VISCOSIDAD CINEMÁTICA	32
	3.12.2 MEDIDA DE LA VISCOSIDAD DE LOS LÍQUIDOS	32
3.13	TENSIÓN SUPERFICIAL Y CAPILARIDAD	33
	3.13.1 TENSIÓN SUPERFICIAL	33
	3.13.2 CAPILARIDAD	34
3.14	ECUACIONES BÁSICAS	35
	3.14.1 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD	35
	3.14.2 ECUACIÓN DE BERNOULLI	36
3.15	MEDICIÓN DE FLUJO	38
3.16	CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DE UN MEDIDOR DE FLUJO QUE VARI CON EL GASTO	38
3.17	PRINCIPIO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	39

CAPÍTULO IV : MEDICIÓN DE TEMPERATURA

4.1	INTRODUCCIÓN	40
4.2	MEDICIÓN DE TEMPERATURA	40
4.3	TERMOMETRIA DE LÍQUIDO EN VIDRIO	41
4.4	DESCRIPCIÓN GENERAL	41
4.5	BULBO	42
4.6	CAPILAR DE VIDRIO	42

<p>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>

CAPÍTULO IV : MEDICIÓN DE TEMPERATURA

	PAGINA No.	
4.7	ESCALA PRINCIPAL	42
4.8	CÁMARA DE EXPANSIÓN	43
4.9	CÁMARA DE CONTRACCIÓN	43
4.10	INMERSION	43
4.11	USOS Y CUIDADOS	45
4.12	DE FLUIDOS TERMOMÉTRICOS	45
4.13	CORRECCIONES.	45
4.14	TERMOPARES	46
4.15	PRINCIPIOS BÁSICOS	46
4.16	LEYES PRÁCTICAS DE LA TERMOELECTRICIDAD.	46
4.17	MATERIALES TERMOELÉCTRICOS	47
4.18	TIPOS DE TERMOPARES	48

CAPÍTULO V: MEDIDORES DE CAUDAL

5.1	INTRODUCCIÓN	50
5.2	MEDIDORES DE FLUJO LINEALES Y NO LINEALES	50
5.3	COEFICIENTE DE DESCARGA	51
5.4	CORRECCIÓN DEL MEDIDOR	51
5.5	FACTOR DEL MEDIDOR(METER – FACTOR)	51
5.6	FACTOR K	52
5.7	MEDIDORES DE FLUJO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	53
	5.7.1 MEDIDORES DE FLUJO	53
5.9	CARACTERÍSTICAS DE UN MEDIDOROR DE FLUJO IDEAL	53
	5.9.1 CARACTERÍSTICAS DESEADAS	53
5.10	CLASIFICACIÓN DE LOS MEDIDORES DE FLUJO	54
5.12	MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	55
5.13	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	61
5.14	TEMPERATURA EN EL MEDIDOR	61
5.15	PRESIÓN EN EL MEDIDORDE FLUJO	62
5.16	FLUJO DEL MEDIDOR	62
5.17	PRODUCTO A MANEJAR	62
5.18	PARÁMETROS DEL MEDIDOR DE FLUJO	63
	5.18.1 EXACTITUD	63
	5.18.2 CONFIABILIDAD	63
	5.18.3 VENTAJAS	64
	5.18.4 DESVENTAJAS	64
5.19	MEDIDORES DE FLUJO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA GAS	64
5.20	MEDIDOR TIPO ROTOS	65
5.21	MEDIDOR DE DIAFRAGMA	65
5.22	MEDIDOR DE GAS DE TIPO HÚMEDO	66

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO V: MEDIDORES DE CAUDAL

	PAGINA No.
5.23 PATRONES VOLUMÉTRICOS	68
5.23.1 PATRÓN	68
5.23.2 PATRÓN VOLUMÉTRICO	68
5.23.3 PEQUEÑOS VOLÚMENES	69
5.23.4 GRANDES VOLÚMENES	70
5.24 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OLLAS PÁTRON	71
5.25 CALIBRACIÓN DE ESTE TIPO DE PATRONES	77
5.25.1 MÉTODO GRAVIMETRICO	77
5.25.2 MÉTODO VOLUMÉTRICO	78

CAPÍTULO VI : PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR POR MEDIO DE LA OLLA PATRÓN

6.1 INTRODUCCIÓN	79
6.2 COMPONENTES DEL SISTEMA PARA REALIZAR LA CALIBRACIÓN	79
6.3 CORRIDA	83
6.4 TOMA DE DATOS PARA LA CALIBRACION DE EL MEDIDOR DE DESPLASAMIENTO POSITIVO	85
6.5 EJEMPLO DE CALIBRACIÓN DE UN MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO MEDIANTE UNA OLLA PATRON	86
6.5.1 EJEMPLO DE CALIBRACIÓN A FLUJO ALTO	87
6.5.2 EJEMPLO DE CALIBRACIÓN A FLUJO MEDIO	88
6.5.3 EJEMPLO DE CALIBRACIÓN A FLUJO BAJO	89
6.6 DETERMINACION DE LA RECTA DE MEJOR AJUSTE	90

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

7.1 CONCLUSIONES	91
------------------	----

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO	PAGINA No.	No. DE FIGURA	DESCRIPCION
III	25	1	Flujo laminar
III	25	2	Flujo turbulento
III	26	3	Flujo de transición
III	26	4	Perfil de velocidad
III	27	5	Perfil de velocidad en un flujo laminar
III	27	6	Perfil de velocidad aguas debajo de una tubería recta
III	27	7	Dos perfiles típicos
III	31	8	Perfil de velocidades
III	33	9	Medidor de viscosidad
III	33	10	Tensión Superficial
III	34	11	Capilaridad
III	34	12	El menisco se encuentra por debajo de la superficie libre
III	36	13	La ecuación de continuidad
III	37	14	Ecuación de Bernoulli
III	39	15	La curva puede exhibir desviaciones del comportamiento ideal
IV	42	16	Termómetro de vidrio
IV	44	17	Tipos de termómetros de inmersión
V	50	18	Curva característica de los medidores lineales y no lineales
V	50	19	Curva de comportamiento de un medidor de flujo
V	52	20	Ejemplo de una curva característica del factor K en función de Q
V	56	21	Medidor de flujo despachador de turbosina
V	57	22	Los interiores de un medidor de paletas
V	58	23	Carcasa de un medidor de desplazamiento positivo
V	59	24	Unidad de medición
V	60	25	Unidades de medición
V	60	26	Contador de impulsos
V	65	27	Unidad de medición de gas
V	66	28	Medidor de gas tipo Húmedo
V	69	29	Medidores de pequeños volúmenes
V	69	30	Pipeta

CAPITULO	PAGINA No.	No. DE FIGURAS	DESCRIPCION
V	71	31	Ollas patrón volumétricas
V	73	32	Partes de una olla patrón para pequeños volúmenes
V	73	33	Olla patrón para grandes volúmenes
V	74	34	Partes de la olla patrón de grandes volúmenes
VI	80	35	Patín de medición
VI	81	36	Patín alineado en forma de recirculación
VI	81	37	Patín alineado empacado
VI	82	38	Patín alineado para homogenizar la temperatura
VI	82	39	Patín listo para calibración
VI	83	40	Patín calibrando
VI	84	41	Patín determinación de la corrida
VI	84	42	Patín en forma de recuperación del producto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPITULO	PAGINA No.	No. DE ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
II	9	1	Conversión de °C a grados K
II	14	2	El error cometido en la medida
II	16	3	Incertidumbre relativa
II	1	4	Incertidumbre relativa %
II	18	5	La media aritmética
II	19	6	La variancia de n observaciones
II	19	7	La desviación estándar de n observaciones
II	20	8	Método de mínimos cuadrados
II	20	9	Método de mínimos cuadrados
II	20	10	Método de mínimos cuadrados
II	21	11	Método de mínimos cuadrados
III	24	12	Número de Reynolds
III	28	13	La ecuación del perfil de velocidad de Schlichting
III	28	14	La ecuación de el perfil de velocidad de Schlichting (complemento)
III	28	15	La ecuación de el perfil de velocidad de Schlichting(complemento)
III	28	16	La densidad absoluta
III	28	17	La densidad relativa
III	28	18	El peso específico
III	29	19	El peso específico relativo
III	29	20	Presión
III	29	21	La compresibilidad de un fluido
III	30	22	La elasticidad
III	30	23	Velocidad de propagación de una variación de presión de un líquido
III	30	24	El coeficiente de expansión térmica
III	31	25	Viscosidad
III	32	26	El esfuerzo tangencial que se produce entre 2 láminas
III	32	27	La viscosidad dinámica
III	35	28	Ecuación de continuidad
III	35	29	Ecuación del gasto
III	36	30	Flujo másico
III	36	31	Ecuación de Bernoulli
III	37	32	Ecuación de Bernoulli para dos estaciones de un conducto
III	38	33	Gasto
III	38	34	Gasto másico
IV	41	35	Dilatación térmica del liquido
IV	47	36	Fem. entre metales
V	51	37	El coeficiente de descarga
V	51	38	El coeficiente de descarga
V	51	39	La corrección del medidor
V	52	40	El factor del medidor

CAPITULO	PAGINA No.	No. DE ECUACIÓN	DESCRIPCION
V.	52	41	El factor K
V	62	42	La exactitud
VI	89	43	Ecuación 1 de 3 para calculo de la recta
VI	89	44	Ecuación 2 de 3 para calculo de la recta
VI	89	45	Ecuación 3 de 3 para calculo de la recta
VI	89	46	Ecuación de la recta de mejor ajuste

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO	PAGINA No.	No. DE TABLA	DESCRIPCION
II	5	1	Unidades básicas del SI
II	6	2	Unidad derivada del SI
II	6	3	Unidad derivada del SI
II	7	4	Prefijos decimales
II	8	5	Sistema métrico
II	9	6	Múltiplos decimales de las unidades del sistema métrico
II	13	7	Evitar confundir magnitudes con unidades
II	13	8	Castellanizar los nombres propios de las unidades
II	14	9	Evitar el uso de conceptos traducidos incorrectamente
IV	48	10	La sensibilidad de algunos materiales en combinación con el platino
IV	49	11	Termopares
V	53	12	Características de un medidor de flujo ideal
V	75	13	Especificación general para la construcción de patrones volumétricos de gran capacidad
V	76	14	Graduación de la escala
V	76	15	Coefficiente de expansión térmica para diferentes metales o aleaciones
V	77	16	Tolerancia máximas y tiempos de drenado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Desde que el hombre surge en la tierra empieza a tener necesidades como: el comer cubrirse, etc. y conforme avanza el tiempo el hombre empieza a realizar observaciones, referente a todo lo que le rodea y empieza a tener "control sobre algunos fenómenos naturales" y así mismo a realizar algunas medidas como por ejemplo: "cuando sale, se mete y vuelve a salir el sol, lo consideraron como un día". Conforme han ido transcurriendo los años se han creado organismos que se dedican a estudiar lo correspondiente a las medidas y sus unidades. Estas organizaciones han tenido una gran aportación con los estándares que son utilizados a nivel internacional; gracias a estos, se tienen distintos tipo de sistemas de unidades y entre estos existen equivalencias que nos permiten hacer la conversión de unidades entre un sistema y otro.

El flujo o caudal se define como: la cantidad de fluido que pasa en un determinado tiempo y se le considera como una unidad derivada. Como podemos observar, en todo el mundo se manejan fluidos los cuales siempre es necesario medir, como por ejemplo: en cada casa se tiene un medidor de agua, el cual registra el caudal que consume ésta y la empresa que da el servicio realiza las lecturas correspondientes, para así poder cobrar el caudal consumido. Cuando se va a la gasolinera y se llena el taque del automóvil, hay medidores de flujo que registran el flujo para poder cobrar lo justo.

Se podrían seguir dando ejemplos, pero aquí lo importante es observar que así como hay distintos tipos de fluidos, existen también distintos tipos de medidores para cada uno de estos, como pueden ser ollas volumétricas, medidores de desplazamiento positivo, turbinas. Cada uno de estos medidores tienen un uso en específico, como por ejemplo: las ollas volumétricas que sirven para medir cierto volumen y se utilizan como medidas patrón, con las cuales se pueden calibrar otro tipo de medidores (que no son patrones): Por ejemplo los utilizados en la industria del petróleo, para la medición del llenado de las pipas con productos derivados (gasolina, diesel, etc.). Los medidores de desplazamiento positivo se utilizan a nivel nacional debido a sus características como la buena repetibilidad, buena incertidumbre, mantenimiento sencillo, etc. Estas características aunadas a su calibración periódica los hace muy confiables es y se puede decir "que se consideran como un patrón secundario".

¿Por qué será ó es importante que estos medidores se encuentren calibrados y con una desviación muy pequeña?

Vamos a realizar una hipótesis con respecto a la industria de la venta de gasolina, diesel, etc: Si en una terminal donde se distribuyen los productos derivados de petróleo, se llenan pipas con una capacidad de 20,000.00 L cada pipa, para su venta a gasolineras y se tienen los medidores sin calibrar y este entrega realmente 20,100.00 L y en la lectura del medidor muestra 20,000.00 L. El vendedor esta perdiendo 100 L (y el cliente esta ganando 100 L) y si suponemos que el litro de gasolina es de 1 peso por litro y esta pipa realiza 4 viajes por turno (poniendo de antemano que carga en la misma posición de llenado). tomando en cuenta que son 3 turnos. La pregunta aquí sería ¿cuanto esta perdiendo la empresa por esta posición y por esta pipa?

PAGINACIÓN DISCONTINUA

Datos:

Perdida de 100 L. por cada carga

Precio de la gasolina 1 peso

4 viajes por turno

3 turnos

Entonces se multiplican los litros por el precio de la gasolina $100 \times 1 = 100$ estos es cada que carga, y como carga 4 veces, lo multiplicamos por 4 quedando 400 pesos, pero como lo hace en tres turnos se multiplica por 3 quedando 1,200.00 pesos al día por esa posición de llenado. Y si en esta planta se tienen 10 posiciones de llenado sin calibrar con características parecidas tendríamos que: 1200.00 pesos por día por las 10 posiciones de llenado nos darían una cantidad de 12,000.00 pesos por día por toda la producción. Y ahora si consideramos que estas plantas distribuyen el producto durante los 365 días del año tendríamos una pérdida de 4,380,000.00 pesos anuales solo en esta terminal. Si en el D.F. existen 4 terminales y que tuvieran las mismas condiciones se tendría solo en el D.F. una pérdida de 17,520,000.00 pesos al año por todo el D.F. Pero hay que tomar en cuenta que si estas condiciones fueran parecidas a nivel nacional, donde existieran terminales de distribución de estos productos, serían millones de pesos los que se perderían al año. O en caso contrario ganaría la empresa si en ves de darles a las gasolineras 20,000.00 L le dieran 19,900.00 L y estas pérdidas las absorbería el usuario final que en este caso sería los automovilistas.

Estos cálculos son un supuesto debido a que en realidad las condiciones de operación de las plantas que venden estos productos derivados del petróleo se encuentran bajo sus normas que se certificaron ante I.S.O (International Organization for Standardization) 9002 versión 1994. La hipótesis anterior y la certificación ante I.S.O. hacen que la calibración de los medidores de flujo sea parte medular de estos sistemas, y así poder entrar dentro de este mundo globalizado.

En lo particular estas calibraciones de los medidores de flujo son muy importantes (como lo muestra el análisis anterior). Desde hace 4 años en 1999 surge el primer laboratorio secundario en el área de flujo, acreditado por la Dirección General de Normas (DGN) y la Entidad Mexicana de Acreditamiento (EMA), su misión de este laboratorio, es calibrar los medidores que se encuentran en las islas donde se llenan las pipas de las terminales de distribución de productos petrolíferos a nivel nacional.

De la discusión anterior surge la importancia del presente trabajo de tesis cuyos objetivos principales perseguidos son:

1.2 OBJETIVO

Mostrar un método para calibrar un medidor de desplazamiento positivo, por medio de una olla patrón. Comparando, que el volumen registrado por el medidor de desplazamiento positivo, sea lo mas aproximado al volumen registrado por la olla patrón.

Teniendo en cuenta que se deben realizar las corridas suficientes de mediciones para poder determinar su repetibilidad (que sea buena), su desviación (que sea aproximadamente a cero) y su incertidumbre (sea favorable). Y como antecedente para poder realizar esta calibración se tiene que en:

- El capítulo II se habla sobre los sistemas de unidades, definiciones sobre medición y estadística.
- El capítulo III se muestran algunas características y comportamientos de los fluidos.
- El capítulo IV lo correspondiente a la medición de temperatura.
- El capítulo V nos describe el sistema y funcionamiento de el patín de medición para realizar la Calibración, así como el manejo adecuado de los datos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La aportación de esta tesis es presentar un método de calibración para los medidores de flujo encargados de llenar los autotanques, que reparten los productos derivados del petróleo (gasolina, diesel, turbosina, etc.) y con este método se podrá minimizar las pérdidas millonarias (como se mostró en el ejemplo). Favoreciendo a su desarrollo sostenido, de las empresas en donde los medidores de flujo juegan un papel importante en sus ventas y por ende en sus utilidades.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO II

CONCEPTOS

BÁSICOS

DE

METROLOGIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran algunos sistemas de unidades, en donde se observan su unidades básicas y algunas unidades derivadas de estas. Debido a que existen distintos sistemas de unidades se pueden pasar estas medidas de un sistema a otro mediante un método muy sencillo que se muestra aquí. También se muestran algunos conceptos asociados con la medición y lo referente a la estadística que se ocupa en esta.

2.2 METROLOGÍA

Ciencia que tiene por objeto el estudio de las unidades y de las medidas de las magnitudes; define también las exigencias técnicas de los métodos e instrumentos de medida.

Una magnitud física adquiere sentido cuando se le compara con otra que se toma como elemento de referencia. En realidad se manejan cantidades, o estados particulares de una magnitud, que se comparan con la cantidad tomada como unidad. Así, una magnitud es un conjunto de cantidades en el que hay una cierta ordenación, está definido un criterio de igualdad y puede verificarse la operación suma.

La medida de una magnitud puede realizarse directamente, como cuando se mide una masa comparándola con una unidad, o indirectamente, como cuando se mide la velocidad media de un automóvil midiendo el espacio recorrido y el tiempo.

Una vez definida la unidad de medida para ciertas magnitudes, a partir de estas unidades se pueden definir las correspondientes a otras magnitudes. Las primeras se conocen como magnitudes fundamentales y las segundas como magnitudes derivadas. Sin embargo, el carácter fundamental o derivado de una magnitud no es intrínseco a la misma. Un sistema de unidades establece y define con precisión cuáles son las unidades fundamentales. En el Sistema Internacional de unidades, SI, se utilizan siete unidades fundamentales.

2.3 MAGNITUD (FÍSICA Y QUÍMICA)

Propiedad de un objeto o de un fenómeno físico o químico susceptible de tomar diferentes valores numéricos. Las magnitudes pueden ser **extensivas** o **intensivas**. El valor de cualquier magnitud extensiva se obtiene sumando los valores de la misma en todas las partes del sistema. Por ejemplo, si un sistema se subdivide en partes pequeñas, el volumen total o la masa total se obtienen sumando los volúmenes o las masas de cada parte. El valor obtenido es independiente de la manera en que se subdivide el sistema.

Las magnitudes intensivas no se obtienen mediante tal proceso de suma, sino que se miden y tienen un valor constante en cualquier parte de un sistema en equilibrio. La presión y la temperatura son ejemplos de magnitudes intensivas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4 UNIDAD

Cantidad elegida para medir por comparación todas las de su especie. Las leyes de la Física y la Química expresan relaciones entre magnitudes, como, por ejemplo, longitud, tiempo, fuerza, temperatura o cantidad de sustancia, y la medida de una magnitud como éstas exige compararla con cierto valor unidad de la misma.

Las unidades de todas las magnitudes físicas y químicas se pueden expresar en función de estas siete unidades: metro, kilogramo, segundo, kelvin, amperio, candela y mol, unidades fundamentales del Sistema Internacional de unidades (SI). Así, la unidad de aceleración m/s^2 se expresa en función de las de longitud (m) y tiempo (s). Algunas combinaciones de unidades reciben nombres especiales, como la unidad de trabajo $kg \cdot m^2/s^2$, que se denomina julio (J), o la unidad de fuerza $kg \cdot m/s^2$, denominada newton (N).

2.5 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Nombre adoptado por la XI Conferencia General de Pesas y Medidas (celebrada en París en 1960) para un sistema universal, unificado y coherente de unidades de medida, basado en el sistema MKS (metro-kilogramo-segundo). Este sistema se conoce como SI, iniciales de Sistema Internacional. En la Conferencia de 1960 se definieron los patrones para seis unidades básicas o fundamentales y dos unidades suplementarias (radián y estereorradián); en 1971 se añadió una séptima unidad fundamental, el mol.

Las dos unidades suplementarias se suprimieron como una clase independiente dentro del Sistema Internacional en la XX Conferencia General de Pesas y Medidas (1995); estas dos unidades quedaron incorporadas al SI como unidades derivadas sin dimensiones. Las siete unidades fundamentales se enumeran en la tabla 1. Los símbolos de la última columna son los mismos en todos los idiomas.

Unidades básicas del SI		
Magnitud	Nombre de la unidad SI básica	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

TABLA 1

Las unidades del SI para todas las demás magnitudes se derivan de las siete unidades fundamentales. En la tabla 2 se muestran ejemplos de algunas unidades derivadas del SI, expresadas en unidades fundamentales.

Ciertas unidades derivadas se emplean con tanta frecuencia que han recibido un nombre especial generalmente el de un científico, como se indica en la tabla 3.

Tabla 2 y 3 : unidades derivadas del SI

TABLA 2: Unidades del SI derivadas		
Magnitud	Nombre de la unidad SI derivada	Símbolo
Superficie	metro cuadrado	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³
Velocidad	metro por segundo	m/s
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m/s ²
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
Densidad de corriente	amperio por metro cuadrado	A/m ²
Fuerza de campo magnético	Amperio por metro	A/m
Volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg
Luminancia	Candela por metro cuadrado	cd/m ²

TABLA 2

Expresión en función de unidades SI básicas o en función de otras unidades SI

Magnitud	Nombre especial de la unidad SI derivada	Símbolo
Ángulo plano	Radián	rad
Ángulo sólido	Estereorradián	sr
Frecuencia	Hercio	Hz
Fuerza	Newton	N
Presión, tensión mecánica	Pascal	Pa
Energía, trabajo, cantidad de calor	Julio	J
Potencia	Vatio	W
Cantidad de electricidad	Coulombio	C
Potencial eléctrico, diferencia de potencial, tensión eléctrica y fuerza electromotriz	Voltio	V
Capacidad eléctrica	Faradio	F
Resistencia eléctrica	Ohmio	W
Conductancia eléctrica	Siemens	S
Flujo magnético, flujo de inducción magnética	Weber	Wb
Densidad de flujo magnético, inducción magnética	Tesla	T
Inductancia	Henrio	H
Temperatura Celsius	Grado Celsius	°C
Flujo luminoso	Lumen	lm
Iluminancia	Lux	lx
Actividad (radiaciones ionizantes)	Becquerel	Bq
Dosis absorbida	Gray	Gy
Dosis equivalente	Sievert	Sv

TABLA 3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Una característica del SI es que es un sistema coherente, es decir, las unidades derivadas se expresan como productos y cocientes de unidades fundamentales y otras unidades derivadas, sin la introducción de factores numéricos. Esto hace que algunas unidades resulten demasiado grandes para el uso habitual y otras sean demasiado pequeñas. Por eso se adoptaron y ampliaron los prefijos desarrollados para el sistema métrico. Estos prefijos, indicados en la tabla 4, se emplean tanto con unidades fundamentales como derivadas.

Algunos ejemplos son: milímetro (mm), kilómetro/hora (km/h), megavatio (MW) o picofaradio (pF). Como no se emplean prefijos dobles y el nombre de la unidad fundamental 'kilogramo' ya contiene un prefijo, los prefijos no se emplean con esta unidad sino con gramo.

Tabla 4: Prefijos		Decimales
PREFIJO	SÍMBOLO	AUMENTO O DISMINUCIÓN DE LA UNIDAD
Exa	E	1.000.000.000.000.000.000 (un trillón)
Peta	P	1.000.000.000.000.000 (mil billones)
Tera	T	1.000.000.000.000 (un billón)
Giga	G	1.000.000.000 (mil millones, un millardo)
Mega	M	1.000.000 (un millón)
Kilo	K	1.000 (un millar, mil)
Hecto	H	100 (un centenar, cien)
Deca	Da	10 (una decena, diez)
Deci	D	0,1 (un décimo)
Centi	C	0,01 (un centésimo)
Mili	M	0,001 (un milésimo)
Micro	μ	0,000001 (un millonésimo)
Nano	N	0,000000001 (un milmillonésimo)
Pico	P	0,000000000001 (un billonésimo)
Femto	F	0,000000000000001 (un milbillonésimo)
Atto	A	0,000000000000000001 (un trillonésimo)

TABLA 4

Algunas unidades que no forman parte del SI se emplean de forma tan generalizada que no resulta práctico abandonarlas. Las unidades cuyo uso se sigue aceptando por el SI se enumeran en la tabla 5.

El empleo de algunas otras unidades de uso común se permite durante un tiempo limitado, sujeto a una revisión en el futuro. Entre estas unidades están la milla náutica, el nudo, el ángstrom, la atmósfera, la hectárea o el bar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sistema métrico

MEDIDAS LINEALES (LONGITUD)	
1/10 de metro (m)	= 1 decímetro (dm)
1/10 de decímetro	= 1 centímetro (cm)
1/10 de centímetro	= 1 milímetro (mm)
1/1.000 de milímetro	= 1 micrómetro (mm), antiguamente micrón
1/1.000 de micrómetro	= 1 nanómetro (nm)
100 metros	= 1 hectómetro (hm)
10 hectómetros	= 1 kilómetro (km)
1.000 kilómetros	= 1 megámetro (Mm)

MEDIDAS CUADRADAS (SUPERFICIE)	
1 área	= 1 decámetro cuadrado (dam ²)
1 hectárea	= 1 hectómetro cuadrado (hm ²)

MEDIDAS CÚBICAS (VOLUMEN O CAPACIDAD)	
1/10 de litro	= 1 decilitro (dl)
1/1.000 de litros	= 1 mililitro (ml)
1.000 litros	= 1 metro cúbico (m ³)

MASA	
1/1.000 de gramo	= 1 miligramo (mg)
1/1.000 de miligramo	= 1 microgramo (mg)
1.000 gramos	= 1 kilogramo (kg)
1.000 kilogramos	= 1 tonelada (megagramo) (t)

TABLA 5

2.6 SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

Sistema decimal de unidades físicas, que toma su nombre de su unidad de longitud, el metro (del griego *metron*, 'medida'). El sistema métrico decimal fue introducido y adoptado legalmente en Francia en la década de 1790, y adoptado después como sistema común de pesos y medidas por la mayoría de los países. El sistema métrico decimal se usa en todo el mundo para trabajos científicos.

En 1900, el sistema métrico se había ampliado para convertirse en el sistema MKS (metro-kilogramo-segundo), en el que la unidad de masa no era el gramo sino el kilogramo, y que incluía además la unidad de tiempo, el segundo. Más tarde se añadió una unidad electromagnética, el amperio, para formar el sistema MKSA (metro-kilogramo-segundo-amperio). Como en la ciencia se necesitaban unidades más pequeñas, también se empleaba el sistema CGS o cegesimal (centímetro-gramo-segundo). La unidad de volumen se definió inicialmente como 1 decímetro cúbico, pero en 1901 se redefinió como el volumen ocupado por un kilogramo de agua a 4 °C de temperatura y una presión de 760 mm de mercurio; en 1964 se volvió a la definición original.

Para expresar múltiplos decimales de las unidades del sistema métrico se emplea una serie de prefijos griegos, mientras que para expresar fracciones decimales se utilizan otros prefijos latinos. El Sistema Internacional de unidades adoptó esos prefijos y añadió otros.

En Gran Bretaña, Estados Unidos y muchos otros países angloparlantes todavía se emplean pulgadas, pies, millas, libras o galones como unidades comunes para medir longitudes, pesos y volúmenes. Sin embargo estas unidades tradicionales están legalmente basadas en patrones métricos como lo muestra la tabla 6

Longitud		
NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR
Pulgada	In	25,4 mm
Pie	Ft	0,3048 m
Yarda	Yd	0,9144 m
Milla	Mile	1.609,344 m

Superficie		
NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR
Pulgada cuadrada	in ²	6,4516 cm ²
Pie cuadrado	ft ²	0,09290306 m ²
Yarda cuadrada	yd ²	0,836127 m ²
Milla cuadrada	Mile ²	2,589988 km ²
Acre	Acre	4,046,856 m ²

Masa		
NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR
Libra	Lb	453,59237 g
Onza	Oz	28,3495 g

TABLA 6

2.7 LA ESCALA KELVIN Y CELSIUS

En el sistema internacional de unidades SI, la temperatura es expresada en una escala absoluta de temperaturas, la escala Kelvin, cuya unidad de medida es el grado Kelvin y que representa teóricamente la temperatura más baja que puede ser alcanzada. La escala Celsius es aceptada por el SI y esta basada en la temperatura de solidificación del agua (0°C) y la temperatura de ebullición del agua (100°C) en condiciones normales de presión y temperatura a nivel medio del mar. La temperatura expresada en grados Celsius es 273.16 veces menor que la misma temperatura expresada en grados Kelvin. En la siguiente ecuación se muestra la conversión de grados Kelvin a grados centígrados

$$T_k = t_c + 273.16 \quad \dots(1)$$

Donde:

t_c temperatura en °C

T_k temperatura en K

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las mediciones de temperatura son trazables hacia los llamados puntos fijos. Estas son temperaturas que se basan en las propiedades termodinámicas de diferentes materiales, algunas mediciones de temperatura incluyen puntos fijos como:

- Punto triple del mercurio (-18.8344 °C)
- Punto triple del agua (0.01 °C)
- Punto de fusión del Galio (29.7646 °C)
- Punto de solidificación del Indio (156.5985 °C)

Este equilibrio se verifica solamente en un punto determinado del diagrama P-T, es decir, a presión y temperatura completamente determinadas. El hecho de que a los puntos triples les corresponden valores completamente determinados de la temperatura, los hace excepcionalmente útiles como puntos estándar de la escala de temperaturas y su reproducción esta libre de las dificultades relacionadas con el requerimiento de mantener una presión determinada, en general, en cualquier punto de equilibrio de dos fases.

2.9 PRINCIPIO DE LA HOMOGENEIDAD

Todos los términos de las ecuaciones físicas deben tener las mismas dimensiones (las ecuaciones físicas deben ser homogéneas en sus unidades) . Esto permite manejar las formulas dimensionales, que expresan las magnitudes en función de sus dimensiones.

Por ejemplo:

$$\text{Volumen} = (L) (L) (L) = L^3$$

$$\text{Superficie} = (L) (L) = L^2$$

$$\text{Densidad} = (M / V) = (M / L^3) = (M)(L^{-3})$$

$$\text{Velocidad} = (d / t) = (L/T) = (L)(T^{-1})$$

Para establecer una ecuación dimensional se hace referencia a la dimensión de la cantidad y se escribe un símbolo para esta , así por ejemplo :

La dimensión de longitud es indicada por [L]

La dimensión de el tiempo se indica por [T]

La dimensión de masa se indica por [M]

La ecuación dimensional de una cantidad física no contiene factor numérico o coeficiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.10 CONVERSIÓN DE UNIDADES

La elección de unidades generalmente se determina por la conveniencia y por el hábito. Cuando se mide una cantidad Física es importante especificar el número de veces que se ha de repetir la unidad estándar, pero también hay que especificar cuál es esa unidad. Así, la magnitud de cualquier cantidad se complementa por un número y una unidad.

Dado que las magnitudes de las cantidades pueden ser expresadas en diferentes unidades, hay ocasiones que es necesario convertir una cantidad de un sistema de unidades a otro. Esto se logra al dar a las unidades un tratamiento algebraico y utilizar el principio de cancelación.

Ejemplo:

Se tiene una longitud de 10 cm y la queremos representar en pulgadas

Por definición 1 pulg = 2.54 cm

De aquí, podemos formar dos relaciones, ambas iguales a 1:

$$\frac{1 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} = 1 \quad \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} = 1$$

Cualquiera de ellas puede ser multiplicada por 10 cm sin cambiar la longitud que representa, pero solamente la primera da un cambio de unidades significativo, así pues nos quedaría lo siguiente.

$$(10 \text{ cm}) \left(\frac{1 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} \right) = \left(\frac{(10)(1)}{2.54} \right) \left[\frac{(\text{cm})(\text{pulg})}{(\text{cm})} \right] = 3.94 \text{ pulg}$$

Donde se realiza la ecuación matemática para encontrar el valor de la longitud y al realizar la expresión algebraica se eliminan los cm y quedan solo las pulg. De la expresión anterior al término 1 Pulg / 2.54 cm se denomina factor de conversión, ya que es usado para convertir un conjunto de unidades en otro. Si observamos que un solo factor de conversión nos da dos cocientes y ambos equivalen a la unidad. Al hacer una conversión, elegimos el cociente que nos permita cancelar o anular la unidad que deseamos eliminar.

2.11 VOCABULARIO DE METROLOGÍA

Para que los resultados de las actividades metroológicas tengan el significado que se pretende. Es necesario entre otras cosas, que estén expresados de acuerdo con las convenciones que a nivel internacional se han establecido y se usen apropiadamente el lenguaje en que están redactadas. En este contexto, el sistema internacional (SI) es el lenguaje básico, cuya escritura y simbología es necesario conocer y aplicar en forma correcta.

Por lo anterior, se presentan las reglas para la escritura apropiada de los símbolos de las unidades del SI, así como otras recomendaciones para la expresión de los resultados metrológicos en el sistema nacional de mediciones.

2.11.1 REGLAS PARA LA ESCRITURA DE LOS SÍMBOLOS DE LAS UNIDADES SI

1. Los símbolos de las unidades deben ser expresados en caracteres romanos (rectos), en general minúsculas, con la excepción de los símbolos que se derivan de nombres propios, en los cuales la primera letra en mayúscula, ejemplo : m; kg; s; K; V; C; Pa; Hz; Wb
2. No se debe colocar punto después del símbolo de la unidad, ejemplo: 10 Pa ; 50W
3. Los símbolos de las unidades no deben pluralizarse, ejemplo: 80kg; 40L; 125 mg
4. El signo de multiplicación para indicar el producto de dos o mas unidades deben ser de preferencia un punto. Este punto puede suprimirse cuando la falta de separación se los símbolos de las unidades que intervengan en el producto no se presente a confusión, como ejemplo: ya que se confunden las unidades de un momento de una fuerza (newton metro) con milinewton, submúltiplo de la unidad de fuerza.
5. Cuando una unidad derivada se forma por el cociente de dos unidades, se puede utilizar una línea inclinada, una línea horizontal o bien potencias negativas, ejemplo: $\frac{m}{s}$; m/s; m·s⁻¹
6. No debe de utilizarse mas de una línea inclinada a menos que se agreguen paréntesis. En los casos complicados, debe utilizarse potencias negativas o paréntesis, ejemplo: m/s² ó m·s⁻² **pero no** m/s/s
7. En la escritura de un texto usual, los nombres de las unidades deben escribirse con caracteres minúsculos aún cuando provengan de nombres propios, ejemplo la unidad de fuerza es el newton **pero no** la unidad de fuerza es el Newton.
8. los símbolos de los prefijos deben ser impresos en caracteres romanos (rectos), sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad, ejemplo: μv **pero no** μv ; ms **pero no** m s.
9. El conjunto formado por el símbolo de prefijo unido al símbolo de la unidad, constituye un nuevo símbolo inseparable (de un múltiplo de la unidad correspondiente) que puede ser elevado a una potencia positiva o negativa y combinarse con otros símbolos de unidades para formar símbolos de unidades compuestas, ejemplo : $1 \text{ cm}^2 = (10^{-2} \text{ m})^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$
10. No deben utilizarse prefijos compuestos, es decir prefijos formados por al yuxtaposición de lo demás prefijos SI, ejemplo; 1nm(un manómetro) **pero no** 1 m μ m(un milimicrómetro).
11. Entre las unidades de base del SI, la unidad de masa es la única , por razones históricas, que contienen un prefijo. Los nombres de los múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa se forman uniendo prefijos a la palabra gramo, ejemplo: $10^{-6} \text{ kg} = \text{mg}$ **pero no** $1 \mu\text{kg}$ (microkilogramo)
12. No debe utilizarse nunca un prefijo sólo, ejemplo: es incorrecto /m³ debe escribirse $10^{-6}/\text{m}^3$

2.11.2 REGLAS PARA LA ESCRITURA DEL SIGNO Y LOS NÚMEROS

1. El signo decimal debe ser una coma sobre la línea(.). Si la magnitud de un número es menor que la unidad el signo decimal debe ser precedido por un cero, ejemplo: 70,250 ó 0,468
2. Los números deben ser generalmente impresos en tipo romano para facilitar la lectura de números con varios dígitos, estos deben ser separados en grupos apropiados preferentemente de tres, contando del signo decimal a la derecha y a la izquierda, los grupos deben ser separados por un pequeño espacio, nunca con una coma, un punto u otro medio, ejemplo: 7 801 234,539

2.11.3 EVITAR CONFUNDIR LAS MAGNITUDES CON LAS UNIDADES U OTROS TÉRMINOS

Concepto incorrecto	Magnitud o concepto recomendable
Voltaje	Tensión eléctrica, diferencia de potencial
Amperaje	Corriente eléctrica
Ciclaje	Frecuencia
Kilometraje	Distancia en kilómetros
Wattaje	Potencia, flujo energético
Cubicaje	Volumen

TABLA 7

2.11.4 CASTELLANIZAR LOS NOMBRES PROPIOS DE LAS UNIDADES ES CONTRARIO AL CARÁCTER UNIVERSAL DEL SI

Incorrecto	Correcto
Vatio	Watt
Amperio	Ampere
Voltio	Volt
Ohmio	Ohm

TABLA 8

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.11.5 EVITAR EL USO DE BARBARISMOS O CONCEPTOS TRADUCIDOS INCORRECTAMENTE

Se utiliza	Se recomienda
Rango(medición)	Alcance, intervalo (medición)
Reporte	Informe
Estándar	Patrón modelo, norma, modelo
Checar	Examinar, inspeccionar
Switch	Interruptor
Dial	Cuadrante, escala
Foco	Lámpara
Llanta	Neumático
Claxon	Bocina

TABLA 9

2.12 ERRORES DE MEDIDA

Errores cometidos en la medida de una magnitud debidos al método empleado, a los instrumentos utilizados o al propio experimentador.

El error cometido en la medida de una magnitud es igual a la diferencia $x' - x$ entre el valor encontrado, x' , y el valor verdadero, x . Si el error es positivo se habla de error por exceso y si el error es negativo se dice que es error por defecto.

Los errores pueden ser accidentales o sistemáticos. Los primeros son debidos a variaciones en las condiciones experimentales. Pueden ser tanto por exceso como por defecto y se compensan realizando varias medidas y tomando el valor medio de las mismas. Los errores sistemáticos afectan a la medida siempre en el mismo sentido. Están producidos por un funcionamiento incorrecto del instrumento o por un método no adecuado de medida. En general, estos errores pueden ser corregidos.

Independientemente de estos tipos de errores se definen los conceptos de error absoluto y error relativo de una medida. El error absoluto es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero; posee las mismas unidades que la magnitud que se mide. El error relativo es el cociente entre el error absoluto y el valor de la medida; es un número adimensional y se suele expresar en tanto por ciento. Una medida es tanto más precisa cuanto menor sea su error relativo.

$$E_m = x' - x \quad E_x = \frac{E_m}{X'} 100\% \dots\dots(2)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.13 INCERTIDUMBRE

En el nivel más básico con una medición aparentemente sencilla: tratemos de averiguar de que tipo de proceso se trata y que tipo de afirmación se puede hacer. Si le doy a alguien un cuaderno y le pido que mida su longitud con una regla, y la respuesta que me da es la de 29.5cm, pero esta respuesta nos debe hacer pensar ¿En realidad se nos pide que creamos que la longitud del cuaderno es de exactamente 29.5000..... cm? Seguro que no ;es seguro que esa afirmación esta fuera de los límites de la credibilidad. Entonces, ¿como vamos a interpretar el resultado?. Un momento de reflexión en presencia del cuaderno y la regla nos hará darnos cuenta de que, lejos de determinar el valor "correcto" ó "exacto", lo único que podemos hacer en forma realista es acercarnos al borde del cuaderno sobre la escala, diciéndonos conforme avanzamos "¿ Puedo asegurar que el resultado es menor de 30 cm? ¿menos de 29.9cm?¿menos de 29.8cm?. la respuesta a cada una de estas respuestas indudablemente será si. Pero conforme avancemos sobre la escala, llegaremos en el punto en el cual ya no podremos dar con confianza la misma respuesta. En este punto debemos detenernos, y de ese modo identificamos un extremo del intervalo que se convierte en nuestro valor medido. De manera semejante podríamos acercarnos al borde del cuaderno por abajo, preguntándonos a cada paso : "¿ estoy seguro de que el resultado es mayor de 29.0 cm?¿29.1?" y así sucesivamente.

Una vez más debemos de llegar a un valor en el cual nos tendremos que detener, porque ya no podremos decir con seguridad que el resultado es mayor . Mediante la combinación de esos dos procesos identificamos un intervalo sobre la escala, este intervalo más pequeño que , hasta donde podemos estar seguros , contiene el valor deseado ; sin embargo, no sabemos en que punto del intervalo esta ese valor esta es la única consecuencia realista del proceso de medición .

No podemos esperar resultados exactos y tendremos que conformarnos con medidas que toman la forma de intervalos. El proceso de aproximarse al valor que buscamos acotándolo por ambos lados nos recuerda la necesidad de dar el resultado como un intervalo y también hace más fácil identificar los extremos del mismo.

Cuando se realizan mediciones y se informen sus resultados se debe tener siempre en cuenta este punto clave y fundamental: las medidas no son simples números exactos, si no que consisten en intervalos, dentro de los cuales se tendrá la confianza de que se encuentra el valor esperado. El acto de la medición requiere que se determine tanto la localización como el ancho del intervalo y se hace utilizando con cuidado la percepción visual cada que se realiza una medición. El tipo de medición la figura de la escala, la agudeza visual ,las condiciones de iluminación todas tomaran parte en determinar la anchura del intervalo de medición, por lo tanto, debe determinarse explícitamente cada vez que se haga una medición.

Cual quiera que sea el medio por el cual se halla hecho una medición . el resultado final deberá ser un intervalo que representa, hasta donde la capacidad de medición lo garantice, los límites dentro de los que se encuentra el valor deseado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el ejemplo anterior de la medición del cuaderno, esta medición únicamente fue capaz de afirmar con seguridad que la longitud del cuaderno esta entre 29.4 y 29.6 cm. Aunque el único resultado significativo de un proceso de medición consiste en un intervalo o segmento como ese, con frecuencia es deseable, para propósitos de descripción de cálculo posterior, enunciar de otra forma el valor citado. Se toma el intervalo de 29.4 a 29.6 y lo renombramos 29.5 ± 0.1 cm. Aunque obviamente no es mas que una expresión del intervalo original con el nombre cambiado, esa nueva forma tiene ciertas ventajas. Nos da un valor central de 29.5, también nos da otro valor, ± 0.1 que se conoce como la incertidumbre de la medida, con el que podemos juzgar la calidad del proceso de medición. Una desventaja de esta forma de expresarlo es que se podría citar únicamente el valor central de 29.5. A menos que recordemos claramente que solo la cantidad completa (29.5 ± 0.1) sirve como una expresión correcta del resultado.

Como la cifra de ± 0.1 cm representa la magnitud o el intervalo en que la lectura de 29.5 es incierta, a menudo se le llama la "incertidumbre absoluta" de la medida,

¿ Cuán significativa es una incertidumbre de ± 0.1 cm ?

Cuando medimos la longitud de un cuadernos es significativa hasta cierto punto. Si estamos midiendo la distancia entre dos ciudades, una incertidumbre de ± 0.1 cm es probable que sea completamente insignificante.

Por otra parte si estamos midiendo el tamaño de una bacteria microscópica, una incertidumbre de ± 0.1 cm aría que la medición careciera de sentido.

Por esta razón con frecuencia es deseable comparar la cifra de incertidumbre con el valor de la medición misma; haciéndolo así se puede evaluar en forma realista cuán significativa es la incertidumbre, quedando:

Incetidumbre relativa = incetidumbre absoluta / valor medido.....(3)

Esta Incetidumbre relativa con frecuencia se cita como un porcentaje, de modo que solo faltaría multiplicar el resultado por 100 y nos queda

Incetidumbre relativa = (incetidumbre absoluta / valor medido) X100.....(4)

Para el ejemplo anterior nos quedaría:

Incetidumbre relativa = $\pm (0.1/29.5) \times 100 = \pm 0.3$

2.14 PRECISION

Proximidad de concordancia entre los resultados de 2 o más mediciones de la misma magnitud medida. La precisión en mediciones de flujo se define como la incertidumbre aleatoria a un nivel de confianza del 95% y usualmente se expresa en %. Para definir la precisión se requiere hablar de repetibilidad y de reproducibilidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.15 EXACTITUD

Proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y el valor verdadero de una magnitud medida.

La exactitud es lo inverso del error. Un instrumento con una exactitud de $\pm 1\%$ en realidad tiene una inexactitud. La exactitud de tal instrumento es 99% - 101%.

La exactitud es expresada como una incertidumbre estimada a:

- Un intervalo de valores dentro de los cuales se encuentra el valor verdadero.
- Asociado a un nivel de confianza.

La incertidumbre es clasificada en aleatoria y sistemática. La incertidumbre total de una medición es estimada combinando todas las fuentes de incertidumbre. Es importante que las componentes de la incertidumbre "aleatoria y sistemática" sean combinadas dentro de dos valores separadamente. Esos dos valores serán luego combinados para dar un solo valor numérico

2.16 REPETIBILIDAD

Proximidad de concordancia entre los resultados de 2 o más mediciones sucesivas de la misma magnitud, usualmente expresada en %. Se efectúa bajo las siguientes condiciones:

- Mismo método de medición
- Mismo observador
- Mismo instrumento de medida
- Mismo sitio
- Mismas condiciones de uso y repetición de la medición en periodos cortos de tiempo.

La repetibilidad expresa que tanto se pueden duplicar los resultados de una medición.

2.17 REPRODUCIBILIDAD

Proximidad de concordancia entre el resultado de 2 o más mediciones de la misma magnitud, usualmente expresado en %. Se efectúa haciendo variar las siguientes condiciones:

- Método de medición
- Observador
- Instrumento de medición
- Lugar
- Condiciones de uso, y
- Tiempo

Es necesario especificar las condiciones de cambio para que la reproducibilidad sea válida. La reproducibilidad indica que tanto se puede duplicar los resultados de una medición.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.18 PROCESO DE MEDIDA

Procedimiento por el que se obtiene la expresión numérica de la relación que existe entre dos valores de una misma magnitud, uno de los cuales se ha adoptado convencionalmente como unidad.

Los resultados de las medidas son números que, por diversas causas que van desde el propio procedimiento hasta fallos del experimentador, presentan errores y son, por tanto, números aproximados. Lo importante en una medida es encontrar el número aproximado y estimar el error que se comete al tomar ese valor.

La precisión de un instrumento de medida es la mínima variación de magnitud que puede determinar sin error. Un instrumento será tanto más preciso cuanto mayor sea el número de cifras significativas que puedan obtenerse con él. El error de una medida también puede estar motivado por los errores sistemáticos del instrumento, que pueden deberse a defectos de fabricación, variaciones de la presión, la temperatura o la humedad.

Estos errores no pueden eliminarse totalmente y para que su valor sea lo más pequeño posible se realizan pruebas de control que consisten en cotejar las medidas con las de un objeto patrón.

Para obtener el valor de una magnitud lo más cercano posible al valor exacto hay que repetir la medida varias veces, calcular el valor medio y los errores absoluto y de dispersión.

El error absoluto de una medida cualquiera es la diferencia entre el valor medio obtenido y el hallado en esa medida. El error de dispersión es el error absoluto medio de todas las medidas. El resultado de la medida se expresa como el valor medio 'más, menos' (\pm) el error de dispersión.

2.19 MEDIDAS DE DISPERSION

2.19.1 MEDIA

Dado un conjunto de n mediciones u observaciones X_1, X_2, \dots, X_n existen varias formas de describir su centro (punto medio, localización central) entre las más comunes se encuentra la media aritmética y la mediana si bien otra clase de promedios se utiliza para fines especiales. La media aritmética o simplemente la media se define por la ecuación.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots (5)$$

TIENE CON
FALLA DE ORIGEN

algunas veces es preferible utilizar la mediana como una media descriptiva del centro o localización de un conjunto de datos esto sucede particularmente si se desea minimizar los

cálculos o si se quiere eliminar el efecto de valores extremos (muy grandes o muy pequeños)

Ejemplo calcular la media de: 15, 14, 2, 27, y 13

$$\bar{x} = \frac{15+14+2+27+13}{5} = 14.2$$

2.19.2 VARIANCIA

A semejanza de la variancia de una distribución de probabilidad la variancia de n observaciones X_1, X_2, \dots, X_n mide esencialmente el promedio de los cuadrados de las desviaciones con respecto a la media \bar{x} y esta definida por la Ecuación:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \dots (6)$$

La razón por la cual se divide entre $n-1$ en lugar de n es que si consideramos las X como los valores de alguna variable aleatoria S^2 será una mejor estimación de la variancia de la distribución.

La desviación estándar de n observaciones X_1, X_2, \dots, X_n como la raíz cuadrada de su varianza, quedando así:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots (7)$$

Ejemplo: Los tiempos de preparación, manipulación, colocación y ajuste de las herramientas para cortar seis partes del motor en un torno son 0.6, 1.2, 0.9, 1.0, 0.6, 0.8 min, calcular la desviación estándar.

En primer lugar calculamos la media

$$\bar{x} = \frac{0.6+1.2+0.9+1.0+0.6+0.8}{6} = 0.85$$

posteriormente se muestran los cálculos correspondientes para determinar $\sum (x_i - \bar{x})^2$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
0.6	-0.25	0.0625
1.2	0.35	0.1225
0.9	0.05	0.0025
1.0	0.15	0.0225
0.6	-0.25	0.0625
0.8	-0.05	0.0025
La sumatoria		0.2750

Luego se divide 0.2750 por 6-1=5 sacamos la raíz cuadrada y obtenemos:

$$S = \sqrt{\frac{0.2750}{6-1}} = 0.23$$

El coeficiente de variación lo da la desviación estándar como un porcentaje de la media

$$V = (S/\bar{X}) \times 100$$

Del ejemplo anterior

$$V = (0.23/0.85) \times 100$$

$$V = 27.05$$

2.20 MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS

El método de calcular la ecuación de la línea que mejor ajusta un conjunto dado de datos apareados denominado método de mínimos cuadrados de valores de "a" y "b" (estimaciones α y β).

Una condición necesaria para que exista un mínimo relativo es la anulación de las derivadas parciales con respecto a "a" y "b", por lo tanto tenemos:

$$2 \sum_{i=1}^n [Y_i - (a + bx_i)](-1) = 0 \dots\dots(8)$$

$$2 \sum_{i=1}^n [Y_i - (a + bx_i)](-x_i) = 0 \dots\dots(9)$$

y rescribiendo estas dos ecuaciones obtendremos:

$$\sum_{i=1}^n y_i = an + b \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots(10)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 \dots (11)$$

Este conjunto de ecuaciones lineales con las incógnitas a y b denominadas ecuaciones, normales, da los valores "a" y "b" para la línea con el mejor ajuste a un conjunto de datos apareado de acuerdo con el criterio de mínimos cuadrados.

Ejemplo:

Los siguientes datos son las mediciones de la velocidad del aire y el coeficiente de evaporación de las gotas de combustible en una turbina de propulsión:

X	Y
Velocidad del aire en cm/seg	Coefficiente de evaporación mm ² /seg
20	0.18
60	0.37
100	0.35
140	0.78
180	0.56
220	0.75
260	1.18
300	1.36
340	1.17
380	1.65

Ajuste una línea recta a estos datos por el método de mínimos cuadrados y utilízarla para estimar el coeficiente de evaporación de una gota cuando el aire esta a 190 cm/seg.

Solución:

Las cantidades que debemos sustituir en las dos ecuaciones son n=10 y

$$\sum_{i=1}^n x_i = 2000 \quad \sum_{i=1}^n x_i^2 = 532000$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = 8.35 \quad \sum_{i=1}^n x_i y_i = 2175.40$$

así obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$8.35 = 10a + 2000b$$

$$2175.4 = 2000a + 532000b$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

resolviendo el sistema de ecuaciones :

$$a=0.069 \text{ y } b= 0.0038$$

así la ecuación de la línea recta que mejor ajusta los datos en el sentido de mínimos cuadrados es:

$$Y=0.069+0.0038x$$

Y para $X= 190$ predecimos que el coeficiente será

$$Y= 0.069+0.0038(190)=0.79 \text{ mm}^2/\text{seg}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS

Y PROPIEDADES

DE

LOS FLUIDOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran algunas características estáticas y dinámicas de los fluidos así como algunas características de su comportamiento en movimiento y ecuaciones básicas para el análisis de este.

3.2 MECÁNICA DE FLUIDOS

3.2.1 ESTÁTICA DE FLUIDOS

La materia fundamentalmente se divide en sólidos y fluidos, y esta última en gases y líquidos.

Un fluido es parte de un estado de la materia la cual no tiene un volumen definido, sino que adapta la forma del recipiente que lo contiene a diferencia de los sólidos, los cuales tienen forma y volumen definido. Los fluidos tienen la capacidad de fluir, es decir, puede ser trasvasada de un recipiente a otro. Dentro de la clasificación de fluidos, los líquidos y gases presentan propiedades diferentes. Ambos tipos de fluidos, tienen la propiedad de no tener forma propia y que estos fluyen al aplicarles fuerzas externas. La diferencia está en la llamada compresibilidad. Para el caso de los gases estos pueden ser comprimidos reduciendo su volumen. Por lo tanto:

- Los gases son compresibles,
- Los líquidos son prácticamente incompresibles.

Otra característica entre los sólidos y los fluidos es que los primeros se resisten a los agentes externos a cambiar su forma, en cambio los fluidos prácticamente no se resisten a dichos agentes.

Las fuerzas sobre los fluidos se dividen en internas y externas. Las primeras son fuerzas relacionadas con la presión, que son una consecuencia natural de la fluidez, o sea de la propiedad que tienen los fluidos a ponerse en movimiento bajo la acción de cualquier fuerza. Dentro de las fuerzas internas también están las debidas a la viscosidad, o sea la resistencia que presentan los fluidos a ponerse en movimiento provocado por la fricción que hay entre las diferentes capas de fluido. Los llamados fluidos ideales presentan una viscosidad despreciable a diferencia de los viscosos, los cuales presentan una viscosidad no nula. En la segunda categoría de las fuerzas, las llamadas externas, son fuerzas que al igual que en los sólidos actúan sobre el volumen. De ellas, la más común e importante es el peso del fluido.

3.2.2 DINÁMICA DE LOS FLUIDOS

El movimiento de un fluido puede ser descrito en términos de un flujo. El flujo de los fluidos puede ser de régimen estable o de régimen variable.

Cuando la velocidad de un fluido en cualquier punto dado permanece constante en el transcurso del tiempo, se dice que el movimiento del fluido es uniforme. Esto es, en un punto dado cualquiera, en un flujo de régimen estable la velocidad de cada partícula de fluido que pasa es siempre la misma. En cualquier otro punto puede pasar una partícula con una velocidad diferente, pero toda partícula que pase por este segundo punto se comporta allí de la misma manera que se comportaba la primera partícula cuando pasó por este punto. Estas condiciones se pueden conseguir cuando la velocidad del flujo es reducida. Por otro lado, en un flujo de régimen variable, las velocidades son función del tiempo. En el caso de un flujo turbulento, las velocidades varían desordenadamente tanto de un punto a otro como de un momento a otro.

El flujo de los fluidos puede ser viscoso o no viscoso. La viscosidad en el movimiento de los fluidos es el fenómeno análogo a la fricción en el movimiento de los sólidos. Cuando existe viscosidad, se introducen fuerzas tangenciales sobre las distintas capas de un fluido en movimiento y esto da lugar a la disipación de la energía mecánica, es decir, el fluido se calienta.

El flujo de los fluidos puede ser compresible o incompresible. Usualmente los líquidos pueden considerarse como incompresibles.

El flujo de los fluidos puede ser rotacional o irrotacional. Si un elemento de fluido en cada punto no posee una velocidad angular neta o efectiva relativa a ese punto, el flujo de fluido es considerado irrotacional.

El estudio del movimiento de un fluido que se hará acá se limita a la dinámica de fluidos para flujos de régimen estable, incompresibles, no viscosos e irrotacionales.

3.3 NÚMERO DE REYNOLDS

El significado del número de Reynolds es muy sencillo de comprender, si consideramos el numerador de la ecuación ρvD , donde ρ es la masa por unidad de volumen. Por lo que, ρv es el momento por unidad de volumen, y ρvD es la fuerza de inercia. El denominador, η , es una medida de la habilidad del flujo del fluido de generar fuerzas viscosas. Esto significa que el número de Reynolds indica que clase de fuerzas predominan en el flujo de un fluido. Cuando ρvD es relativamente grande el número de Re_D es grande y las fuerzas viscosas prevalecerán, pero cuando η es relativamente grande el número Re_D será pequeño y las fuerzas viscosas prevalecen. El número de Reynolds es adimensional.

$$Re_D = \frac{\rho v D}{\eta} \dots (12)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.4 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO

3.4.1 FLUJO LAMINAR (flujo viscoso)

Ocurre cuando el régimen de flujo posee un número de Reynolds menor de 2 000, el flujo de fluido viaja a través de la tubería en líneas cuya trayectorias son paralelas entre si y poseen diferentes velocidades.

La línea de menor velocidad es la que está más cerca de la pared de la tubería y la que se mueve con mayor rapidez es la línea en el centro de la tubería, se supone que no existe intercambio de partículas de fluido entre las diferentes líneas. Sin embargo es necesario recordar que realmente existen flujos secundarios que son muy complejos de entender y que en la práctica no son tomados en cuenta.

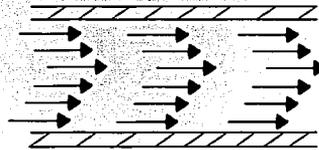


Figura 1
Flujo laminar

3.4.2 FLUJO TURBULENTO

El flujo turbulento ocurre cuando los números de Reynolds son mayores de 2 000 (algunas veces ocurren muy por debajo de este número). En este régimen existe intercambio de partículas entre líneas adyacentes de fluido. Este tipo de flujo tiene un interés práctico en la industria.

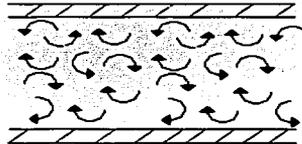


Figura 2
Flujo turbulento

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.4.3 FLUJO DE TRANSICIÓN

Este ocurre cuando un flujo laminar se transforma en turbulento provocando una zona de inestabilidad, es afectado por varios factores y desde luego los medidores de flujo sometidos a este tipo de régimen exhiben características muy deficientes.

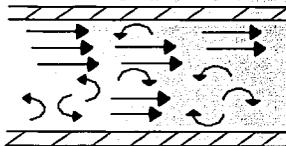


Figura 3
Flujo de transición

3.5 PERFIL DE VELOCIDADES

La figura 5 muestra como la velocidad varía a través de la tubería este fenómeno es llamado perfil de velocidad. Observando que el fluido adyacente a las paredes sólidas posee una velocidad igual a cero y una velocidad máxima en el centro de líneas de la tubería.

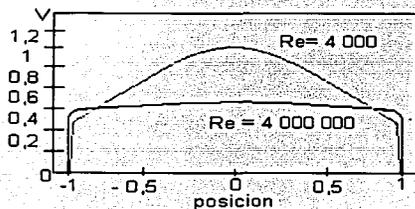


Figura 4
Perfil de velocidad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En un flujo laminar el perfil de velocidad es una parábola y la velocidad en el centro de líneas de la tubería es el doble de la velocidad media

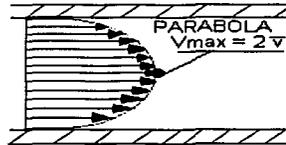


Figura 5
Perfil de velocidad en un flujo laminar

En un flujo turbulento, el perfil de velocidad aguas debajo de una tubería recta y larga es mucho más plano, y la velocidad en el centro es aproximadamente 1,2 veces la velocidad media. Bajo estas condiciones se dice que el perfil de velocidad esta completamente desarrollado. Por otro lado el perfil puede ser completamente distorsionado por un codo instalado en la tubería, o por un medidor de flujo, por una válvula, etc.

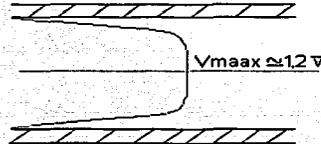


Figura 6
Perfil de velocidad aguas debajo de una tubería recta

La figura 8 muestra dos perfiles asimétricos típicos, obtenidos utilizando un velocímetro láser a 5 y 20 diámetros aguas abajo del mismo codo en una tubería de 75mm

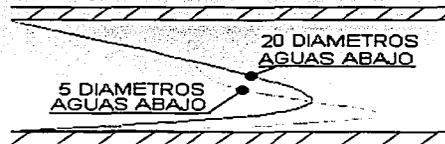


Figura 7
Dos perfiles asimétricos típicos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La ecuación de el perfil de velocidad de Schlichting es:

$$V_y = V_0 \left(1 - \frac{y}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \dots (13)$$

El termino n esta en función del número de Reynolds:

$$n = 3.299 + 0.3257 \ln \text{Re}_D \text{ para } \text{Re}_D < 400\,000 \dots (14)$$

$$n = 5.5365 + (5.498 \times 10^{-6}) (\ln \text{Re}_D)^5 \text{ para } \text{Re}_D > 400\,000 \dots (15)$$

3.6 DENSIDAD.

La densidad absoluta (ρ) es la masa contenida en la undiad de volumen. Para cualquier estado de agregación de la materia, en los gases $V=f(P, T, m)$

$$\rho = \frac{m}{V} [ML^{-3}] \dots (16)$$

Donde:

m = es la masa

V = es el volumen

Se llama densidad relativa (δ_r) a la razón entre la densidad absoluta de un fluido en cuestión y la densidad del agua a 4°C.

$$\delta_r = \frac{\rho_{\text{fluido}}}{\rho_{\text{agua}}} \dots (17)$$

3.7 PESO ESPECIFICO

El peso específico (γ) es la fuerza de atracción gravitatoria de la tierra sobre la unidad de volumen

$$\gamma = \frac{PESO}{V} [ML^{-2}T^{-2}] \dots (18)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

También, se emplea el concepto de peso específico relativo (γ_r), que es igual al cociente entre el peso específico del fluido en cuestión y el peso específico del agua a 4°C de temperatura.

$$\gamma = \frac{\gamma_{\text{fluido}}}{\gamma_{\text{agua}}} \dots (19)$$

3.8 PRESIÓN

La presión se define como la fuerza aplicada sobre un área y esta determinada por la ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \dots (20)$$

3.9 COMPRESIBILIDAD

Se puede hacer una subclasificación de los fluidos en dos clases principales compresibles e incompresibles sobre la base de su reacción a la presión (esfuerzo normal). Los líquidos, se pueden considerar prácticamente incompresibles por ejemplo, en el caso del agua sería necesario un esfuerzo de 1 000 kg/cm² para obtener una reducción en volumen de 5% aproximadamente sin embargo, la compresibilidad de los líquidos es muy importante ya que ocasiona fenómenos como el golpe de ariete en tuberías.

Los gases por otro lado, se comportan como incompresibles solamente si el cambio en la presión es pequeño a través del sistema.

La compresibilidad de un fluido, κ , es la medida de cambio de volumen cuando el fluido está sometido a presiones o tensiones normales (o cambio de densidad del fluido causado por una variación de presión).

$$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right) = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right) [ML^{-1}T^{-2}] \dots (21)$$

Donde:

- V es el volumen
- dV variación de volumen
- dP variación de presión
- ρ densidad del fluido
- d ρ variación de densidad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.10 ELASTICIDAD

La inversa de la compresibilidad es la elasticidad definida por el módulo de elasticidad volumétrico:

$$E = -\frac{1}{k} [ML^{-1}T^{-2}] \dots (22)$$

El signo - significa que a un incremento positivo de la presión le corresponde una disminución del volumen, V ,

Para el agua el valor de E_v es de 20 000 bar, al aumentar la presión en un bar, el volumen de agua disminuirá en 1/20 000, y si usted lo nota, esto es insignificante. La compresibilidad de los productos líquidos del petróleo varía con su composición, productos viscosos son solamente un poco más comprensible que el agua y los combustibles ligeros son un poco más del doble de comprensibles que el agua.

En aplicaciones comerciales de medición de flujo de aceites y combustibles ligeros la compresibilidad es tomada en cuenta cuando las presiones de los sistemas se encuentran arriba de 2 bar,

Para la mayor parte de los casos prácticos, se puede considerar que la densidad de los líquidos no depende de la presión pero a altas presiones y cuando ocurren oscilaciones elásticas, se debe de tener en cuenta la compresibilidad del líquido. En este caso la velocidad de propagación de una variación de presión de un líquido está dada por

$$C = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} [LT^{-2}] \dots (23)$$

Los gases son altamente comprensibles a bajas presiones pero mucho menos que a grandes presiones: La compresibilidad de un gas ideal es inversamente proporcional a su presión absoluta y la diferencia entre el comportamiento en condiciones ideales y condiciones reales se expresa a través del factor de compresibilidad.

3.11 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA

El coeficiente de expansión térmica de un fluido, conocido también como coeficiente de dilatación es la variación de volumen (o decremento de la densidad) provocado por el cambio de temperatura:

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right) = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right) [T^{-1}] \dots (24)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El coeficiente de expansión térmica de agua fría es muy pequeño y generalmente no se toma en cuenta excepto cuando se requiere una alta exactitud pero se incrementa rápidamente con el incremento de temperatura. El coeficiente de expansión térmica de aceites y combustibles es prácticamente independiente de la temperatura, excepto cuando ellos están muy calientes y lógicamente es mucho más grande si lo comparamos con el de agua fría y no debe de ser omitido en trabajos donde se requiere una pequeña incertidumbre. La expansión térmica de los gases es muy grande y siempre debe de tomarse en cuenta.

Algunos valores típicos del coeficiente de expansión térmica son:

Agua a 20°C 0.0002 por °C

Hidrocarburos 20°C 0.001 por °C

Aire a 20°C 0.0034 por °C

3.12 VISCOSIDAD

Un fluido es la medida de la resistencia que opone éste a la deformación por corte, es decir, a fluir.

$$\eta = \tau \left(\frac{\partial y}{\partial u} \right) [ML^{-1}T^{-1}] \dots (25)$$

Si se considera el movimiento de un fluido sobre una frontera sólida fija, donde las partículas se mueven en línea recta paralela se puede suponer que el flujo se produce en forma de capas o láminas de espesor diferencial cuyas velocidades varían con la distancia y, normal a dicha frontera.

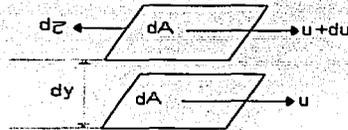


Figura 8
Perfil de velocidades

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Según Newton el esfuerzo tangencial que se produce entre 2 láminas separadas una distancia dy , que se desplazan con velocidades respectivamente su valor es

$$\tau = \eta \frac{\partial v}{\partial y} [ML^{-1}T^{-2}] \dots (26)$$

De acuerdo con dicha ley, el esfuerzo tangencial es proporcional al gradiente transversal de velocidades. La constante de proporcionalidad es una magnitud característica de cada fluido y se conoce como viscosidad dinámica o absoluta.

De acuerdo con el perfil de velocidades que se muestra en la figura 9, se puede observar que el esfuerzo cortante generado entre el fluido y la pared es mayor que el que existe entre las capas de fluido adyacentes.

La viscosidad dinámica es función, principalmente de la temperatura y la presión, la dependencia respecto de la presión es prácticamente despreciable para los líquidos y pequeña o despreciable para la mayoría de los gases y vapores a menos que, la presión sea muy grande. En tanto que la viscosidad de los líquidos disminuye con la temperatura, la de los gases aumenta.

Para cálculos prácticos es más conveniente relacionar la viscosidad dinámica del fluido y su densidad.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} [L^2T^{-1}] \dots (27)$$

3.12.1 VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Las unidades de la viscosidad dinámica del sistema internacional de unidades es el Pascal/segundo pero es usual expresar la viscosidad en centipoise (cP), un cP es 10^{-3} Pas. Las unidades de la velocidad cinemática en el SI es $m^2 s^{-1}$, es común utilizar la unidad del centiestoke (cSt).

3.12.2 MEDIDA DE LA VISCOSIDAD DE LOS LÍQUIDOS

Existen en los laboratorios aparatos especiales para medir la viscosidad dinámica sin embargo, se utilizan más frecuentemente los viscosímetros para determinar la viscosidad cinemática, la medida se basa en el tiempo en que tarda en pasar una cantidad dada de fluido a través de un tubo capilar los viscosímetros se diferencian fundamentalmente en el diámetro del tubo por el que pasa el líquido. La viscosidad es proporcional al tiempo para que los niveles de líquido cambien por gravedad de A1, B1 a A2, B2.

TESIS CON
LA DE ORIGEN

La viscosidad puede también ser medida apropiadamente, pero con mayor incertidumbre en un viscosímetro rotacional en donde la viscosidad es proporcional a la relación del troqué y de la velocidad angular que es medida.

Otros tipos de viscosímetros empleados son: esfera descendente, segundo Saybolt, plato y cono, etc.

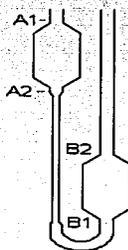


Figura 9
Medidor de viscosidad

3.13 TENSIÓN SUPERFICIAL Y CAPILARIDAD

Para explicar los fenómenos relativos a la superficie de contacto entre dos fluidos no miscibles o de un fluido y un cuerpo sólido es preciso situarse a escala molecular. A esta escala existen fuerzas que se superponen al peso del fluido.

3.13.1 TENSIÓN SUPERFICIAL

Si consideramos la superficie S entre un líquido y un gas figura 11, una molécula A de líquido cuya esfera de acción está sumergida, es atraída por igual por todas las que le rodea, es decir en todos los sentidos.

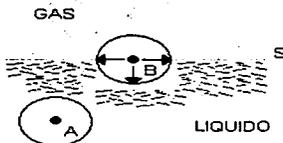


Figura 10
Tensión Superficial

TESIS CON
FOLIA DE ORIGEN

Por otro lado, si consideramos una molécula B, cuya esfera de acción es secante a la superficie S, no estará sometido a la acción de fuerzas simétricas al no estar rodeada por moléculas de la misma naturaleza. Por lo que, B es atraída hacia la masa líquida por una fuerza normal a la superficie de separación y esta acción repercute en las moléculas vecinas, provocando reacciones tangenciales a la superficie S, que constituyen la tensión superficial. La dirección de dichas reacciones dependerá de que la superficie deformada sea cóncava o convexa.

3.13.2 CAPILARIDAD

La existencia de un contorno sólido modifica el equilibrio superficial en el caso de un líquido limitado por una pared, ya que además de las acciones entre las moléculas líquidas, ya vistas (cohesión) existen las que se ejercen entre las moléculas sólidas y líquidas (adherencia).

Si un tubo capilar (de pequeño diámetro), abierto por su parte inferior se sumerge en un líquido que moja el vidrio del tubo de la figura 12, el líquido subirá hasta una altura h por encima de la superficie libre.

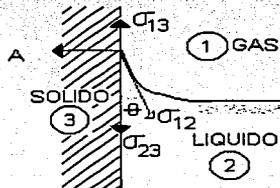


Figura 11
Capilaridad

Donde :

σ_{12} = Tensión superficial, líquido - gas

σ_{13} = Tensión superficial, sólido - gas

σ_{23} = Tensión superficial, líquido - sólido

Cuando el líquido no moja el vidrio, el menisco se encuentra por debajo de la superficie libre (ver figura 13). Como es difícil determinar el ángulo, se considera más cómodo medir la flecha con una escala graduada en el vidrio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

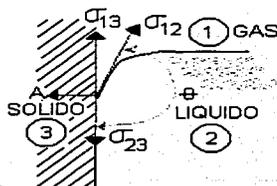


Figura 12

El menisco se encuentra por debajo de la superficie libre

Donde :

σ_{12} = Tensión superficial, líquido - gas

σ_{13} = Tensión superficial, sólido - gas

σ_{23} = Tensión superficial, líquido - sólido

3.14 ECUACIONES BÁSICAS

3.14.1 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de la conservación de la masa, la cual establece que "la masa dentro de un sistema permanece constante con el tiempo", y se expresa como:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = 0 \dots (28)$$

Donde:

m = masa total

t = tiempo

La ecuación de continuidad establece que el volumen de un fluido que pasa por cualquier punto en la unidad de tiempo es constante (caudal ó Gasto), es decir, lo que entra por un lado de una tubería sale por el otro lado y se expresa como:

$$Q = vA = \text{constante} \dots (29)$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/s)

A = Área de la sección transversal de la tubería (m^2)

V = Velocidad media (m/s)

TESIS CON
FOLIA DE ORIGEN

Para un conducto como el de la figura 14 podemos escribir: $Q_1 = Q_2$ y $A_1v_1 = A_2v_2$, lo que significa que cuando el área de sección transversal decrece la velocidad media se incrementa y viceversa.

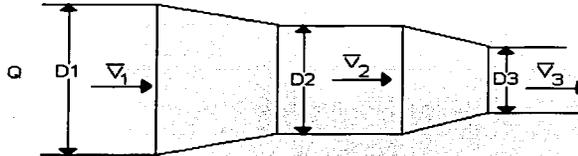


Figura 13

La ecuación de continuidad

Si el fluido es comprensible entonces:

$$m = \rho v A \dots (30)$$

Donde:

m es el flujo másico

ρ es la densidad del fluido.

A área

Cuando la masa del líquido se encuentra por encima de un nivel de referencia posee energía potencial que es positiva, ya que puede caer esa distancia z adquiriendo una energía cinética, de igual forma una cantidad dada de líquido requiere un trabajo equivalente para elevarlo por encima de ese mismo plano de referencia.

3.14.2 ECUACIÓN DE BERNOULLI

Para una masa de fluido que fluye bajo un régimen uniforme sin tomar en cuenta las pérdidas de carga, la suma de la energía de posición, la energía de velocidad y la energía de presión permanecen constantes en cualquier punto. Por lo tanto la energía total H en cualquier punto del sistema referido a un nivel o plano de referencia es:

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z \dots (31)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Donde:

z = Energía de Posición (m)

$\frac{V^2}{2g}$ = Energía de velocidad (m)

g = Valor de la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

$\frac{P}{\gamma}$ = Energía de presión (m)

P = Presión (Pa)

γ = Peso específico del líquido (N/m^3)

Aplicando la ecuación de Bernoulli para dos estaciones de un conducto según la figura 14, tenemos:

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} \dots (32)$$

Esta ecuación no toma en cuenta la pérdida de carga o la energía suministrada a el fluido. La pérdida de carga es la energía transformada en otro tipo de energía (generalmente calor).

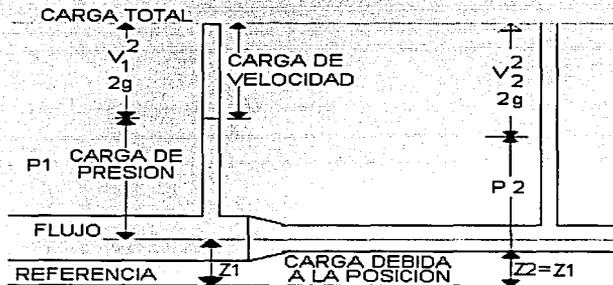


Figura 14
Ecuación de Bernoulli

TESIS CON
FOLLA DE ORIGEN

3.15 MEDICIÓN DE FLUJO

El termino "medición de flujo" puede referirse a cualquiera de seis diferentes tipos de medición.

1. Medición de velocidad en un punto; por ejemplo, anemómetros que se emplean para medir la velocidad de flujo de aire, medidores de corriente que se emplean en ríos y medidores de inserción que se emplean dentro de tuberías y ductos.
2. Medición de la velocidad media; en una tubería que esta relacionada con el flujo volumétrico, Q_v y el área de sección transversal de la tubería. El método consiste en medir la velocidad a lo largo de la sección transversal de la tubería, midiendo el gasto volumétrico.
3. Medición del flujo volumétrico; se define como la relación de cambio de volumen en la unidad de tiempo.

$$Q_v = \frac{V}{t} [L^3 T^{-1}] \dots (33)$$

4. Medición del volumen total; algunos medidores son diseñados para indicar directamente el volumen total, V ; que pasa a través del medidor. El volumen, V , es derivado del flujo volumétrico en un cierto tiempo. Estas operaciones normalmente afectan la incertidumbre de la medición.

5. Gasto másico; se define como la relación de cambio de la masa con respecto al tiempo.

$$M = m/T \dots (34)$$

Algunos de los medidores de flujo másico determinan simultáneamente la densidad del fluido y el flujo volumétrico y emplean la relación: $m = \rho Q$ (kg / s) Ecuación 34

6 Medición de la masa total; casi siempre se determina el flujo másico en un periodo de tiempo o el flujo volumétrico y la densidad del fluido.

3.16 CURVA CARACTERÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO DE UN MEDIDOR DE FLUJO QUE VARI CON EL GASTO

Una curva característica es una gráfica que muestra como el comportamiento de un medidor de flujo varía con el gasto, o con el número de Reynolds en los casos donde sea más apropiado emplearlo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

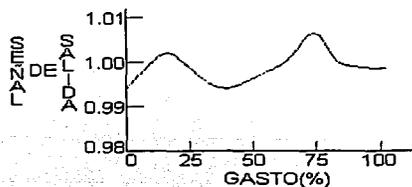


Figura 15

La curva puede exhibir desviaciones del comportamiento ideal

Esta curva es generalmente obtenida de una calibración, es decir de una serie de pruebas sobre un intervalo de gastos o velocidades en las cuales las lecturas de el medidor de flujo son comparadas con un valor medido de flujo (o volumen o masa o de velocidad) derivado de un instrumento de alta exactitud.

3.17 PRINCIPIO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Dice que, en un Fluido al existir un aumento en la presión el volumen disminuirá

CAPÍTULO IV
MEDICIÓN
DE
TEMPERATURA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

39-A

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo que se trata sobre la medición de temperatura se muestra lo que es la termometría, lo que es un termómetro de vidrio, sus partes cuidados y usos así como algunos de sus distintos tipos. Por otra parte los termopares, sus características, materiales y corrección de estos.

4.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Cuando hablamos de Temperatura siempre lo relacionamos con el frío calor de algo. En la antigüedad la temperatura se consideraba como una medida de la cantidad de calor en un cuerpo. Hoy sabemos que la temperatura indica una densidad de calor ó un potencial de calor; esto es la temperatura es una propiedad intensiva de la materia La temperatura como un potencial de calor significa que la dirección del flujo de calor va desde la temperatura más alta a la más baja. El desarrollo de termómetros confiables condujo al establecimiento de teorías científicas acerca de calor y temperatura. Los termómetros mostraron que debía haber un principio físico que fuera independiente del sentimiento de calor y de frío de las personas. El concepto actual de temperatura tiene sus bases en la rama de la ciencia llamada *Termodinámica* y en ella se establece que la temperatura es una cantidad la cual toma el mismo valor en dos sistemas cuando están en contacto térmico con un tercero y ambos se les permite alcanzar el equilibrio térmico. En la práctica éste equilibrio solo se puede alcanzar en forma aproximada ya sea como un cuasi equilibrio donde las variaciones son más lentas que nuestra habilidad para medirlas, ó sobre una región local donde los cambios sean pequeños. Aún en situaciones donde no hay equilibrio todavía se pueden realizar mediciones de temperatura debido a que el sensor del termómetro en sí representa una región de equilibrio local como es el caso de las temperaturas metereológicas del aire Así, un principio muy importante derivado de lo anterior es que un *termómetro lee su propia temperatura*.

Se tienen noticias que los primeros termómetros aparecieron en Italia en 1600 A. C. Los aparatos más antiguos fueron los termoscopios y el funcionamiento de ellos se basaba en la expansión y contracción del aire con la temperatura. A pesar de las dificultades que se tenían con esta clase de instrumentos era posible medir temperaturas atmosféricas y el monitoreo de temperaturas en personas enfermas,. Uno de los errores encontrados era que ellos respondían a los cambios en la presión atmosférica que más tarde fue eliminado agregando a la medición un factor de corrección. Dos conclusiones se derivan de lo antes expuesto, primero que los termómetros responden a cambios de distintos parámetros físicos y la segunda es que los errores se pueden corregir siempre y cuando se conozca el origen. Otros problemas encontrados en esa época estaban relacionados con el manejo y la evaporación del agua, los cuales condujeron al desarrollo de los termómetros sellados Por el año de 1650 aparecieron los primeros termómetros de líquido en vidrio los cuales eran similares a los utilizados actualmente. Uno de los requisitos solicitados en un termómetro era la consistencia en las mediciones. Así, los sopladores de virio florentinos podían construir con suficiente consistencia en las dimensiones que diferentes termómetros dieran lecturas similares.

La consistencia era suficiente para habilitar la comparación de las mediciones de temperatura, no había por supuesto servicios de calibración disponible ni temperaturas de referencia conocidas para checar los termómetros. Los termómetros consistentes frecuentemente se hacen de acuerdo con reglas empíricas.

Otro de los desarrollos se produjo en cuanto a los métodos de calibración y métodos de hacer las escalas en los termómetros. Una aplicación importante se produjo en la termometría de líquido en vidrio con el uso de mercurio en lugar de alcohol puro ya que el primero da una escala más lineal que el segundo. La manera práctica de grabar una escala es hacer dos puntos en la columna y dividir el intervalo en sub intervalos. De esto se concluye que la *linealidad en la escala de temperatura* es muy importante.

4.3 TERMOMETRIA DE LÍQUIDO EN VIDRIO

Los termómetros de líquido en vidrio son los sensores de temperatura de uso más sencillo. Probablemente sean el tipo más común y su uso está muy extendido en la industria. Entre las características que los hacen tan populares se distinguen las siguientes: simplicidad, rigidez, bajo costo, dimensiones pequeñas, amplio intervalo de operación (desde alrededor de -200 °C hasta 600 °C) y facilidad de medición. Estas propiedades los hacen muy convenientes para mediciones multipunto de temperatura y monitoreo de procesos de planta, grandes y complejos, y para una enorme variedad de aplicaciones industriales, tecnológicas y científicas; además son los instrumentos mas adecuados para hacer mediciones en fluidos.

4.4 DESCRIPCIÓN GENERAL

Los termómetros de líquido en vidrio son, por sus características, los instrumentos más simples y económicos para medir temperatura, se distinguen por su manejo sencillo y por no requerir de otros aparatos adicionales para medir la temperatura: son aún más simples que los termopares. En la medición de termómetros de líquido en vidrio depende de la habilidad del observador. El principio de operación de los termómetros de líquido en vidrio se basa en la dilatación térmica de un líquido a través de un capilar de vidrio. Existe una gran cantidad de propiedades físicas que se pueden utilizar en la construcción de termómetros, solo se necesita hacer un estudio detallado para determinar la función que relaciona tal propiedad con la temperatura. La propiedad en que se basan los termómetros de líquido en vidrio es el volumen; es decir, se basan en la dilatación térmica del líquido a través del capilar de vidrio. La expresión que relaciona estas variables es la siguiente:

$$V(t_2) = V(t_1) [1 + K (t_2 - t_1)] \dots (35)$$

Donde:

K es el coeficiente de expansión aparente

V(t₁) es el volumen del capilar a una temperatura inicial t₁

V(t₂) es el volumen del capilar a una temperatura t₂

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el caso del mercurio en vidrio, K es 0,00016 o $1/1250^{\circ}\text{C}.\text{I.}$

La figura 16 muestra las partes principales que integran a un termómetro de líquido en vidrio.



Figura 16
Termómetro de vidrio

4.5 BULBO

El bulbo del termómetro es un recipiente de vidrio en el cual se encuentra contenido la mayor parte del fluido termométrico. Considerando que entre mayor sea la superficie que se pondrá en contacto con el medio donde se desea medir, se elige que la forma más adecuada debe ser cilíndrica para que haya una mayor respuesta y en esta misma línea se requiere también que las paredes del bulbo sean lo suficientemente delgadas para que haya un menor tiempo de respuesta, esto por supuesto hace más frágil al instrumento. Se debe hacer una selección adecuada del tipo de vidrio y este no debe ser necesariamente del mismo tipo de vidrio que el del capilar. La elección del tipo de vidrio para el bulbo depende del intervalo en el cual operará el termómetro. El volumen del bulbo del coeficiente de expansión del fluido y del tipo de vidrio. En el caso del mercurio, el volumen del bulbo es aproximadamente 6.222 veces el volumen equivalente a 1°C contenido en el capilar, para líquidos orgánicos con coeficientes de expansión más grandes que los del mercurio, el volumen del bulbo es correspondientemente más pequeño. El líquido termométrico contenido en el capilar de vidrio es conocido como columna de líquido y al menisco se le llama menisco de la columna y sirve como marca de la lectura.

4.6 CAPILAR DE VIDRIO

El capilar de vidrio del termómetro indica los cambios producidos en el volumen del líquido al variar la temperatura, este capilar se encuentra unido a un bulbo del termómetro y generalmente se construye de paredes gruesas. el capilar del termómetro se encuentra sellado y en la parte superior al líquido del termómetro contiene un gas de relleno (que puede ser argón o nitrógeno para altas temperaturas) o vacío.

4.7 ESCALA PRINCIPAL

Esta escala contiene la graduación que nos permite saber tanto la temperatura que estamos midiendo como el intervalo total en el que se debe usar tal termómetro y esta graduada en múltiplos de grados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se recomienda que el grosor de las líneas que definen las escalas sean lo más adecuado (el espesor máximo recomendado es 0,2 del intervalo entre los centros de dos líneas adyacentes) para evitar errores al momento de hacerse las lecturas. La graduación recomendada es utilizando múltiplos o submúltiplos de 1, 2, o 5 grados. Frecuentemente la escala principal constituye por sí misma la escala del termómetro. Sin embargo, algunos termómetros tienen una escala más corta como complemento, la cual es conocida como escala auxiliar, esta se utiliza cuando no se incluye alguna temperatura de referencia, por ejemplo el punto de fusión del hielo, en el intervalo de la escala principal. La temperatura de referencia se utiliza para verificar el estado de la calibración como una función del tiempo o del uso.

4.8 CÁMARA DE EXPANSIÓN

La cámara de expansión es una ampliación al final del capilar cuya función es proteger al termómetro de un sobrecalentamiento que pueda traer como consecuencia una ruptura del instrumento. Esta cámara tiene un volumen mayor o igual a 20 mm de la longitud del capilar, la cámara de esta cámara es una pera invertida con el fin de que no quede líquido atrapado en ella.

4.9 CÁMARA DE CONTRACCIÓN

La cámara de contracción es una ampliación en el capilar mediante el cual se interrumpe la indicación en una zona determinada y permite la instalación de una escala adicional, además de que sirve para prevenir la contracción completa del líquido dentro del bulbo. Usualmente la cámara de contracción se encuentra ubicada entre la escala principal y la escala auxiliar del termómetro (en caso de que esta última exista).

El máximo intervalo en el que operan los termómetros de líquido en vidrio va de -200°C a 600°C . la exactitud en este intervalo puede ir desde $\pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$.

4.10 INMERSION

Considerando que cualquier tipo de vidrio es afectado por el ambiente en el cual se encuentra sumergido, es importante estudiar y caracterizar la profundidad a la cual se deben sumergir los termómetros de líquido en vidrio al momento de realizar una medición. Es particularmente importante conocer el gradiente de temperaturas que pueda establecerse entre dos puntos cualesquiera del termómetro. La inmersión de los termómetros de líquido en vidrio se establece en el momento de diseñar o construir este tipo de termómetros. Se conocen tres tipos de diseños de acuerdo a su profundidad de inmersión los cuales se ilustran en la figura 18:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

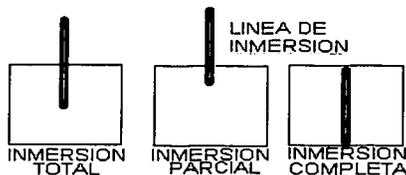


Figura 17
Tipos de termómetros de inmersión

- 1) Termómetros de inmersión total
- 2) Termómetros de inmersión parcial
- 3) Termómetros de inmersión completa.

1) Los termómetros de inmersión total están diseñados para indicar correctamente valores de temperatura cuando el bulbo y toda la columna de líquido es inmersa en el medio donde se requiere determinar la temperatura. En la práctica, una longitud corta de la columna del líquido (unos cuantos milímetros) debe emerger del baño donde se está midiendo con el objeto de hacer una adecuada lectura del instrumento.

2) Un termómetro de inmersión parcial está diseñado de tal manera que indique correctamente valores de temperatura cuando el bulbo y una porción especificada del capilar son sumergidos en el medio. La **línea de inmersión** nos indica precisamente la profundidad de inmersión de estos termómetros, la parte de la columna no expuesta a la temperatura que se desea medir es conocida como **columna emergente**. En los termómetros de inmersión parcial se debe especificar la profundidad de inmersión y la temperatura de la columna emergente, esta temperatura puede ser la misma para todas las lecturas de la escala. Normalmente, los termómetros de inmersión parcial se deben utilizar solo con instrumentos de diseño especial que requieran este tipo de termómetros y se recomienda utilizar los termómetros de inmersión total donde no se requiera estrictamente uno de inmersión parcial ya que las corrientes de aire presentes en el lugar donde se utilizan provocan oscilaciones térmicas que modifican la temperatura de la columna emergente. Para mediciones de gran exactitud lo mejor es utilizar termómetros de inmersión total.

3) Los termómetros de inmersión completa están diseñados para usarse completamente sumergidos en el fluido. Este tipo de termómetros generalmente son de poco uso. Un termómetro de líquido en vidrio solo debe ser utilizado en una de las tres profundidades de inmersión y debe ser normalmente calibrado y usado en esa profundidad. Un caso particular de un termómetro que deba usarse a una profundidad distinta de la que fue calibrado, esto automáticamente involucra un error en la medición. El tamaño de este error depende del tipo de termómetro y de la profundidad a la que se haya sumergido. Como se verá más adelante existe una expresión que permite corregir este error.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es importante mencionar, que si un termómetro de inmersión total debe usarse a inmersión parcial, o viceversa, se puede calcular la corrección, y de esta manera se obtiene la lectura correcta del termómetro. Estas correcciones no se aplican para termómetros de inmersión completa usados (inmersos) a inmersión total o parcial, o para termómetros de inmersión, o para termómetros de inmersión total o parcial; esto se debe a que el bulbo y la cámara de expansión de termómetro sufre efectos de presión al sumergir el termómetro.

4.11 USOS Y CUIDADOS

Normalmente los termómetros de líquido en vidrio deben mantenerse verticalmente para evitar la separación de la columna del líquido. Los termómetros con líquido que moja al vidrio ó aquellos que se utilizan a bajas temperaturas (menores que 50°C) deben protegerse, en lo posible, de los rayos solares con el fin de evitar la ruptura del termómetro al sobrepasar su intervalo de uso.

4.12 DE FLUIDOS TERMOMÉTRICOS

En lo referente a fluidos termométricos, el mercurio es el más ampliamente usado debido a que cubre un amplio intervalo de temperatura, cuyo límite inferior está definido por su punto de solidificación (-38°C) en tanto que el superior lo está por su punto de ebullición (356°C); no moja al capilar de vidrio; y puede obtenerse por destilación en una forma muy pura, su expansión es muy regular y su coeficiente de expansión es relativamente pequeño cuando se compara con muchos otros líquidos. Una mezcla de mercurio-talio extiende el intervalo hasta -60°C, los líquidos orgánicos permiten extender el intervalo hasta -200°C. El alcohol etílico puro tiene su punto de solidificación en -112°C; el tolueno en -95°C y el pentano extiende el intervalo hasta el extremo. Con el propósito de extender el intervalo de uso de algunos líquidos termométricos, se inserta algún gas inerte (por ejemplo argón o nitrógeno) dentro del capilar del termómetro, con lo cual se evita la separación de la columna de líquido.

4.13 CORRECCIONES.

Todo proceso de medición involucra errores de diversos tipos y esto implica que en algunos de los casos se deban hacer algunas correcciones con el fin de conocer de una manera más correcta los valores de las mediciones. En el caso de los termómetros de líquido en vidrio algunos de los errores más comunes son debidos a inmersión, presión, paralaje, depresión, entre otros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.14 TERMOPARES

Los termopares son los sensores de temperatura de uso más común en la industria, Entre las características que los hacen tan populares se distinguen las siguientes: simplicidad, rigidez, bajo costo, tamaño físico pequeño, intervalo de medición de temperatura grande (desde alrededor de $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) y facilidad de medición.

Estas propiedades los hacen muy convenientes para mediciones multipunto de temperatura y monitoreo de procesos de planta, grandes y complejos, y para una enorme variedad de aplicaciones industriales, tecnológicas y científicas.

4.15 PRINCIPIOS BÁSICOS

El método más común para medir la temperatura por efectos eléctricos es el que utiliza el termopar. Cuando se juntan dos metales diferentes, se produce una fuerza electromotriz entre los puntos A y B, la cual es principalmente función de la temperatura de la junta. Este fenómeno se conoce como el efecto Seebeck. Si los dos materiales se conectan a un circuito externo, de manera que circule corriente, la Fem. puede alterarse ligeramente debido a un fenómeno conocido como efecto Peltier. Además si existe un gradiente de temperatura en uno ó ambos materiales, la Fem. puede tener otra ligera alteración debida al fenómeno conocido como efecto Thomson. Por lo tanto en el circuito se presentan tres Fem.: la Fem. de Seebeck originada por la unión de dos metales diferentes, la Fem. de Peltier, ocasionada por el flujo de corriente en el circuito y la Fem. de Thomson que se debe a la existencia de gradientes de temperatura en el material. la Fem de Seebeck es de primordial importancia, ya que depende de la temperatura de la unión. si se mide cuidadosamente la fem generada en la unión de dos metales diferentes como función de la temperatura posteriormente dicha unión nos puede servir para la medición de la temperatura. El principal problema para lograr lo anterior es la medición de la tensión, ya que cuando se conectan los metales al circuito medidor se generará otra Fem. En las uniones de éstos con los alambres que sirven de conexión al circuito medidor. Esta fem dependerá de la temperatura de la última unión y por lo tanto se debe tener en cuenta este potencial adicional.

4.16 LEYES PRÁCTICAS DE LA TERMOELECTRICIDAD.

Ley de circuitos homogéneos.

Una corriente termoelectrica no puede ser sostenida (generada) en un circuito compuesto de un solo material. Si tal corriente se observa deberá tomarse como una indicación de la no-homogeneidad de material.

Ley de metales intermedios.

La suma algebraica de fem generadas térmicamente en un circuito compuesto de diferentes materiales es cero con la condición de que el circuito esté a una temperatura uniforme.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Implicación

Un tercer material, insertado dentro de un circuito del termopar y mantenido a una temperatura uniforme a lo largo de su magnitud total, no tendrá efecto en la fem total del circuito

Implicación: Sean A, B, y C tres diferentes metales y definimos e_{AB} como la fem entre metales A y B. Entonces se satisface que:

$$e_{AB} = e_{AC} + e_{CB} \dots (36)$$

y conociendo la fem termoeléctrica contra un metal de referencia (que normalmente es el platino) es posible calcular la fem de cualquier combinación.

Ley de temperaturas intermedias.

Dice que dos metales disímiles producen una fem como la que se muestra a continuación:

Implicación: En caso de que sean necesarias conexiones eléctricas adicionales, para medir la tensión del termopar, estas deben ser necesariamente hechas en las terminales de aquel. La terminal del termopar puede estar a una temperatura arbitraria, siempre y cuando los alambres usados para llevar las señales del termopar al aparato de medición tengan una composición idéntica (o propiedades termoeléctricas idénticas) a los alambres del termopar, para evitar introducir una fem externa. Tales alambres que igualan las propiedades termoeléctricas del termopar se llaman cables compensadores.

Es claro que es asunto de importancia práctica que los cables de compensación sean conectados a las terminales del termopar con la polaridad correcta.

4.17 MATERIALES TERMOELECTRICOS

El efecto termoeléctrico ocurre cuando un termopar se fabrica de dos materiales disímiles cualesquiera; por lo tanto el número de materiales convenientes para el uso en termopares es muy grande. En muchos casos, los materiales se seleccionan para:

- 1.- Maximizar la sensibilidad sobre el intervalo de operación.
- 2.- Proporcionar estabilidad a largo plazo en los niveles de temperatura superiores.
- 3.- Asegurar compatibilidad con la instrumentación disponible.
- 4.- Minimizar costos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La sensibilidad de algunos materiales en combinación con el platino se presenta en la siguiente tabla.

Material	Sensibilidad (S) mV/°C	Material	Sensibilidad (S) mV/°C
Bismuto	-72.0	Cobre	+6.5
Constanta	-35.0	Oro	+6.5
Níquel	-15.0	Tungsteno	+7.5
Alumen	-13.6	Fierro	+18.5
Platino	0.0	Cromel	+25.8
Mercurio	+0.6	Germanio	+300.0
Carbono	+3.0	Silicio	+440.0
Aluminio	+3.5	Telurio	+500.0
Plomo	+4.0	Seleno	+900.0
Plata	+6.5	---	---

Tabla 10

Los resultados de la tabla se pueden usar para determinar la sensibilidad a 0°C de un termopar fabricado de cualquiera de los dos materiales listados en la tabla. Por ejemplo, la sensibilidad del cromel – aluminio es:

$$S_{\text{cromel/alumen}} = 25.8 - (-13.6) = 39.4 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$$

Es importante recalcar que la sensibilidad S de un termopar no es constante, ya que el voltaje de salida E_o es una función no lineal de la diferencia de temperatura entre las uniones ($T_1 - T_2$).

4.18 TIPOS DE TERMOPARES

Se han utilizado muchas combinaciones de materiales para producir termopares, cada una de ellas tiene alguna característica especial. Existen, sin embargo, ocho termopares estandarizados, los cuales se designan mediante una letra -un sistema originalmente propuesto por la ISA (Instrument Society of America) y ahora usado internacionalmente.

El sistema tiene también la ventaja de que evita el uso de los nombres comerciales que algunas ocasiones son confusos para los termopares de base metálica. En la tabla 8 se listan dichos termopares.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TERMOPARES

Designación	Intervalo de tem [°C]	Materiales
B	0 a 1820	Platino-30% rodio versus platino - 6% rodio
E	-270 a 1000	Aleación de níquel - cromo versus aleación de cobre - níquel
J	-210 a 1372	Hierro versus aleación de cobre- níquel
K	-270 a 1372	Aleación níquel-cromo versus aleación níquel -aluminio
N	-270 a 1300	Aleación de níquel - cromo - silicio versus aleación níquel-silicio-magnesio
R	-50 a 1768	Platino-13% rodio versus platino
S	-50 a 1768	Platino -10 % rodio versus platino
T	-270 a 400	Cobre -versus aleación cobre-níquel

Tabla 11

De la monografía 125 de la NBS. Marzo de 1974 ISA: Instrument Society of America

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO V

MEDIDORES

DE

CAUDAL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran algunos de los distintos tipos de medidores de flujo, así como sus partes principales, características y los datos más importantes que se deben considerar para una buena medición.

5.2 MEDIDORES DE FLUJO LINEALES Y NO LINEALES

En principio, los resultados de una calibración pueden ser trazados como una gráfica de la lectura del medidor, Y , en función del gasto, Q . Si la forma de la línea de la gráfica es más o menos una línea recta que pasa por el origen, como en la figura 18, el medidor de flujo es descrito como lineal. La mayor parte de los medidores de flujo no lineales poseen una curva característica como la que se muestra en la figura 18 donde Q es proporcional a $Y^{1/2}$. Los venturímetros, las placas de orificio y los tubos Pitot donde Y es una medida de presión diferencial, están dentro de esta categoría.

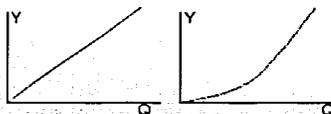


Figura 18

Curva característica de los medidores lineales y no lineales

En la práctica las gráficas anteriores son muy raramente empleadas, debido a que ellas no son capaces de mostrar con suficiente detalle el comportamiento de un medidor de flujo, lo que se requiere es de una gráfica que exhiba claramente cualquier pequeña desviación del comportamiento ideal de un medidor de flujo.

Es por lo tanto normal graficar cualquier tipo de coeficiente del medidor en función del gasto o contra alguna magnitud comparable, como el número de Reynolds, como se ilustra en la figura 20, los resultados de la gráfica se aproximan a una línea recta horizontal, es la proximidad al comportamiento ideal de un medidor de flujo.



Figura 19

Curva de comportamiento de un medidor de flujo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.3 COEFICIENTE DE DESCARGA

El coeficiente de descarga, C , es definido para los medidores de flujo por la ecuación:

$$C = \frac{Q_T}{Q_I} \dots\dots(37)$$

$$C = \frac{V_T}{V_I} \dots\dots(38)$$

Donde:

Q_T y v_T son comúnmente llamados valores verdaderos de gasto y velocidad, por lo que esto significa que esas cantidades fueron determinadas por un instrumento de alta exactitud durante la calibración .

Q_I y v_I valores de gasto y velocidad indicados por el medidor o calculados de sus lecturas. El coeficiente de descarga es extensamente empleado con los medidores de presión diferencial y es generalmente graficado en función del número de Reynolds Re_D

5.4 CORRECCIÓN DEL MEDIDOR

La corrección del medidor, Δ , es un termino empleado con los medidores volumétricos en los que se lee directamente en unidades de volumen, especialmente en los medidores de desplazamiento, este se define como:

$$\Delta = V_T - V_I \dots\dots(39)$$

Donde:

V_T es el volumen verdadero

V_I es el volumen indicado

Esto es comúnmente expresado en forma de una fracción del valor verdadero Δ / V_T , o como un porcentaje de este, $\Delta / V_T \cdot 100$.

El negativo de este, $-\Delta$, es frecuentemente llamado el error del medidor.

5.5 FACTOR DEL MEDIDOR(METER – FACTOR)

El factor del medidor, F , es un termino principalmente usado con los medidores que determinan el volumen total, y especialmente con los medidores de flujo tipo turbina y los medidores de desplazamiento positivo. Y su definición es:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$F = \frac{V_T}{V_I} \dots(40)$$

5.6 FACTOR K

El factor K es un termino empleado para describir el comportamiento de los medidores de los medidores de flujo tipo turbina cuya salida es en forma de pulsos eléctricos, donde el número total de pulsos, n, es proporcional a el volumen que pasa y la frecuencia de los pulsos, dn/dt (f), es proporcional a el flujo, esto es definido como:

$$K = \frac{n}{V_T} \dots(41)$$

La curva característica para los medidores de flujo tipo turbina tiene la forma de una gráfica del factor K en función del gasto, según se muestra en la figura 20.

El recíproco del factor K es una magnitud de gran importancia en la práctica, 1/K debe de ser multiplicado por el número de pulsos, n, para calcular el volumen que ha pasado por el medidor.

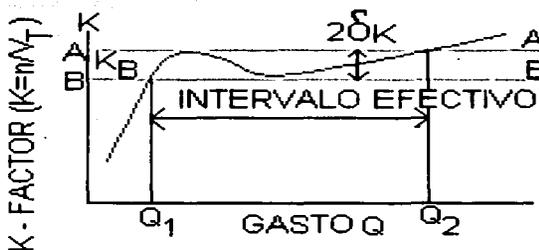


Figura 20

Ejemplo de una curva característica del factor K en función de Q

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.7 MEDIDORES DE FLUJO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

5.7.1 MÉDIDORES DE FLUJO

La tecnología de medición de flujo se ha desarrollado vertiginosamente en las últimas décadas. Algunas técnicas han sobrevivido, mientras que otras han quedado atrás, a un lado del camino, o nunca se desarrollaron comercialmente. Los fenómenos físicos descubiertos cientos de años atrás son el principio de operación de muchos diseños viables de medidores de flujo. En años recientes, el desarrollo técnico en la mecánica de fluidos, la óptica, la acústica, el electromagnetismo, y la electrónica han influido no solo en el mejoramiento de los sensores y diseños electrónicos, sino que también, en nuevas concepciones de medidores.

5.9 CARACTERÍSTICAS DE UN MEDIDOR DE FLUJO IDEAL

5.9.1 CARACTERÍSTICAS DESEADAS

CARACTERÍSTICAS	SE DESEA
Medición	Flujo masico
Técnica	Principios primarios no requiere calibración
Exactitud	Alta
Precisión	Alta
Método	No se instale dentro de la línea
Operación	Lineal
Intervalo	Gran intervalo de medición
Condiciones	Grandes intervalos de presión y temperatura
Fluido	Cualquier liquido o gas
Instalación	Exterior en cualquier parte
Influencia sobre el perfil	Sin influencia
Costo	Barato

Tabla 12

Esta explosión tecnológica ha permitido que los medidores de flujo sean utilizados en otras aplicaciones que eran inimaginables hace algunos siglos. La medición de flujo abarca aplicaciones que van desde el flujo capilar de la sangre a flujos sobre vertederos, flujos de gases, plasmas, pseudo plásticos, sólidos y corrosivos por nombrar unos cuantos.

Una efectiva selección e instalación de los medidores de flujo requiere de un conocimiento de la tecnología de los medidores de flujo, además del conocimiento práctico del proceso y de las características del fluido que será medido. La dificultad en el manejo de éstas dos facetas de la medición de flujo, es el desafío de las aplicaciones prácticas, incluso en función de la experiencia de ingenieros, técnicos y personal de ventas (asesores técnicos).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.10 CLASIFICACIÓN DE LOS MEDIDORES DE FLUJO

Cada medidor de flujo consiste de dos partes diferentes, cada una de las cuales realiza una función específica.

La primera parte. El elemento primario está en contacto y produce una interacción con el fluido. Ejemplos de elementos primarios son:

1. Placa de orificio
2. Impulsor de la turbina
3. Generador de vórtices

La segunda parte El elemento secundario asociado: transforma una o más señales recibidas del elemento primario, en una magnitud medible. Ejemplos de elementos secundarios que pueden estar asociados al elemento primario son:

1. Un manómetro, para medir la presión diferencial provocada por el flujo a través de una placa de orificio.
2. Un sistema eléctrico, que registré magnéticamente las revoluciones de una turbina.
3. Un sistema para detectar los vórtices que nacen detrás de el generador de vórtices.

Cuando un medidor de flujo es seleccionado, ambos, el elemento primario y el secundario deben de ser considerándoos, ya que ellos operarán en conjunto, como una unidad, en un ambiente en particular donde las mediciones están siendo realizadas.

Además, algunos otros factores pueden introducir variaciones a los resultados de las mediciones que deben de ser considerados también en la evaluación de el sistema de medición de flujo.

Tales factores podrían incluir a la persona quien hace las lecturas en el manómetro o a la computadora o microprocesador que calcula los resultados finales a partir de señales analógicas o digitales de datos recibidos desde el elemento secundario.

Los medidores de flujo pueden clasificarse además, en medidores de cantidad y medidores de Velocidad. Los diferentes tipos de medidores de flujo dentro de cada clase de éstas, es la siguiente:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Medidores De Flujo	Por cantidad	Pesaje para líquidos sistema de pesado
	Por volumen	Tanques calibrados Medidores de desplazamiento positivo Ollas volumétricas
	Por velocidad	Presión diferencial Placa de orificio Tubo Venturi Toberas Tubo Pitot Medidor de codo
	Por momento	Turbina Propela Anemómetro de copa
	Área variable	Compuerta Rotámetro
	Carga	Canales Vertederos
	Otros	Electromagnéticos Acústicos Laser Coriolis

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La mayor parte de los medidores, por cantidad listados arriba, son usados donde los requerimientos de espacio y sus características de respuesta temporal no son tan importantes como la precisión y la exactitud -por ejemplo, los dispositivos de pesado para líquidos, los tanques volumétricos calibrados, los dispositivos de pistón recíprocante, y los sistemas de sello líquido para gases son el tipo de medidores de flujo utilizados más como patrones (primarios) para la calibración de medidores de flujo por velocidad. La simplicidad de estos dispositivos y su fácil acceso e inspección de sus componentes producen alta precisión y alta exactitud y la confianza en sus resultados.

5.12 MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Los medidores de flujo de desplazamiento positivo han sido ampliamente utilizados para medir productos líquidos y gaseosos. Por muchos años las mejoras han permitido a este tipo

de medidores servir a la industria en aplicaciones como la del petróleo y gas doméstico. Este tipo de medidor de flujo determina el gasto en volumen de fluido, directamente (por desplazamiento), es decir, miden el gasto en volumen contando o integrando volúmenes separados de fluido. Las partes mecánicas se mueven aprovechando la energía del fluido y ocasionan una pérdida de carga en el sistema de conducción. La precisión y exactitud de estos medidores depende de las cavidades entre las partes móviles y las fijas, de los acabados de la mecanización y de el tamaño de el medidor.



Figura 21
Medidor de flujo despachador de turbosina

Medidores de flujo de desplazamiento positivo para líquidos Principio de operación

Un medidor de desplazamiento positivo es en esencia, un motor hidráulico, con una alta eficiencia volumétrica, que absorbe cantidades pequeñas de energía de la corriente de fluido. Esta energía es empleada para vencer la fricción interna en el funcionamiento del medidor de flujo y sus accesorios, esto desde luego, se manifiesta en una caída de presión. La caída de presión es considerada como un mal necesario que debe de ser minimizado. Esto es, la caída de presión a través del interior del medidor de flujo de desplazamiento positivo es la que realmente provoca un desbalance hidráulico del rotor y causa la rotación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 22
Los interiores de un medidor de paletas

Un medidor de desplazamiento positivo es aquel que continuamente divide la corriente de flujo en volúmenes elementales conocidos, aislando los volúmenes elementales momentáneamente y midiendo el gasto o volumen contando o integrando los volúmenes separados de fluido.

Elementos de construcción

Un medidor de desplazamiento positivo esta constituido principalmente por tres partes:

- La carcasa o cubierta externa
- La unidad de medición

El mecanismo contador de impulsos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

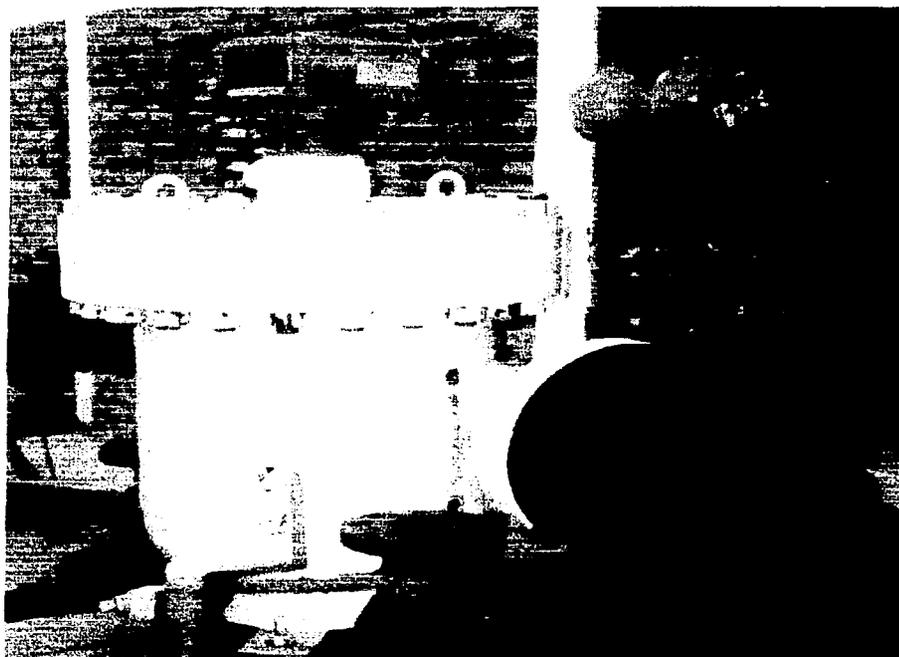


Figura 23
Carcaza de un medidor de desplazamiento positivo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

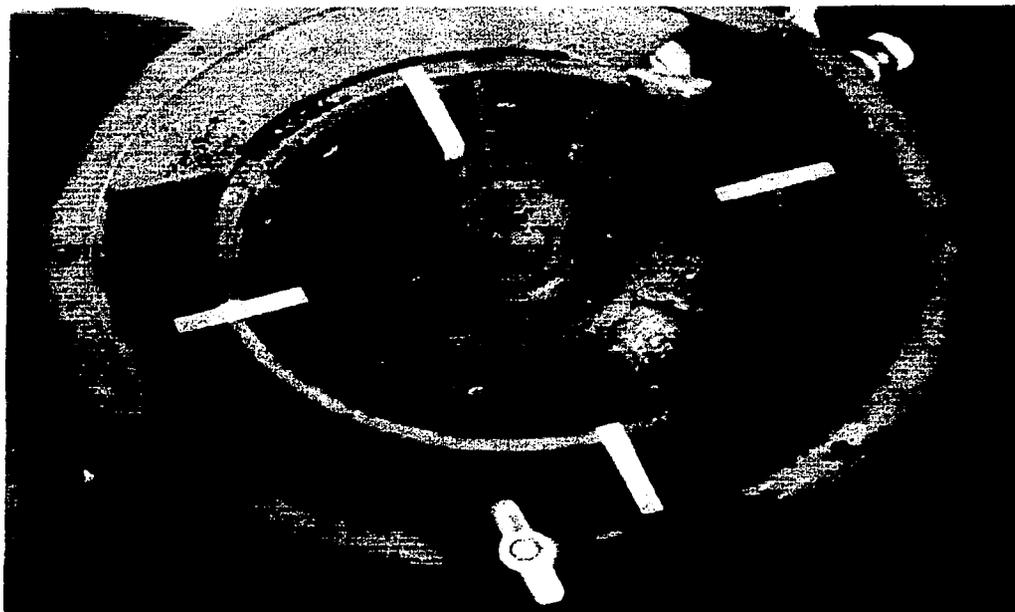


Figura 24
Unidad de medición

La carcasa es el recipiente a presión que contiene el producto a ser medido. Esta puede ser de construcción simple o doble, los de simple construcción tienen la carcasa y la cámara de medición en una unidad integral. En los de construcción de doble caja, el alojamiento está separado de la unidad de medición y sirve únicamente como recipiente a presión. Este tipo de construcción presenta dos ventajas:

- 1) Las paredes de la cámara de medición censan únicamente la diferencia de presión entre la entrada y la salida y
- 2) Los esfuerzos de tensión del sistema de tubería son absorbidos por la carcasa y no son transmitidos al elemento de medición.

La unidad de medición es un elemento de medida preciso y está constituido de una cámara de medición y un mecanismo de desplazamiento. Los tipos más comunes ofrecidos por los fabricantes son: pistón oscilante, paletas deslizantes, engranes, trirotor, birotor y disco.

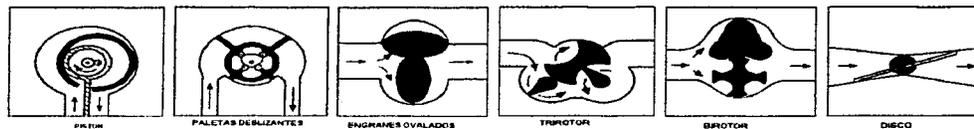


Figura 25
Unidades de medición

El contador de impulsos (tren de engranes al mecanismo desplazamiento) es utilizado para transmitir el movimiento interno de la unidad de medición y convertirlo en una señal de salida que pueda ser utilizada para medir el volumen o el gasto. Muchos medidores de desplazamiento positivo usan un tren de engranes que requiere de un sello en la flecha (entre carcasa a y flecha). Otros tipos de medidores emplean sensores magnéticos o inductivos, estos últimos ofrecen la ventaja de que requieren de bajo troqué (menos pérdidas a flujos pequeños) y aíslan el producto a medir sin necesidad de sellos que puedan fugar.

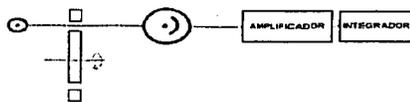
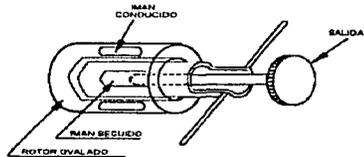


Figura 26
Contador de impulsos

TESIS CON
ORIGEN

5.13 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Los sellos capilares en los medidores de flujo de desplazamiento positivo, trabajan por la acción capilar de el producto (líquido) medido, que forma un sello líquido entre las partes móviles y las estacionarias. Este tipo de medidores de flujo requiere de tolerancias ajustadas y sensibilidad a la presión diferencial.

La fuga de líquido, es el problema más importante que afecta la exactitud de los medidores de flujo de desplazamiento positivo con sello capilar, debido a los claros que existen entre las partes móviles y las estacionarias y la presión diferencial a través de esos claros. Por lo que, para ciertos productos se permite una fuga entre la cámara de medición y esos claros. Si la fuga fuera constante a cualquier condición de operación, estas podrían ser corregidas por el tren de engranes y no sería una fuente de inexactitud. Sin embargo, no es constante y varía con el flujo, la caída de presión, la temperatura, la viscosidad y las dimensiones del claro.

El medidor de flujo de desplazamiento positivo puede ofrecer una excelente exactitud, repetibilidad y confiabilidad en muchas aplicaciones. Se pueden medir flujos de líquidos cuya viscosidad varía o poseen una alta viscosidad sobre un amplio intervalo de flujo, los medidores de flujo de este tipo tienen limitaciones típicas en aplicaciones con líquidos que no poseen características lubricantes y líquidos que contienen partículas sólidas.

Factores de influencia Viscosidad

Es esta propiedad la que permite el sello mediante la acción capilar, de este modo se bloquea, o se bloquea parcialmente una fuga potencial. El incremento de viscosidad mejora el comportamiento de un medidor de flujo de desplazamiento positivo y frecuentemente extiende significativamente el límite inferior del intervalo de flujo en el cual opera.

Desafortunadamente, un incremento en la viscosidad es también acompañada por un incremento en la caída de presión, debido a que las partes en movimiento requieren de mayor energía en trasladar el producto pesado. Puesto que la caída de presión puede incrementarse, la mayoría de los fabricantes especifican la caída de presión máxima permisible y especifican la capacidad de flujo en función de los incrementos de viscosidad. El coeficiente máximo de flujo varía de medidor en medidor.

5.14 TEMPERATURA EN EL MEDIDOR

La temperatura afecta la viscosidad del fluido y causa un cambio en la curva de comportamiento del medidor. Por supuesto que el cambio de temperatura es acompañado por un cambio de volumen del producto (densidad), un cambio en el elemento de medición y un cambio de dimensiones entre los claros de las partes móviles y estacionarias.

Un cambio en el volumen del líquido puede ser corregido a una temperatura de referencia (usualmente 20 °C), con un compensador automático de temperatura. Un cambio en la cámara de medición de volumen, si es necesario, puede ser corregido con un ajuste menor que cambie la relación de engranes. Cambios en las dimensiones de los claros con elevadas temperaturas requieren normalmente el uso de rotores con dimensiones más grandes, esto toma en cuenta una diferencia en los coeficientes de expansión térmica lineal de el rotor y la carcasa.

5.15 PRESIÓN EN EL MEDIDOR DE FLUJO

La presión del sistema debe ser contenida por la carcasa del medidor de flujo y la selección del medidor se lleva a cabo en función de la presión del sistema.

5.16 FLUJO DEL MEDIDOR

Los límites de capacidad de flujo deben de conocerse, para asegurar un medidor de flujo con un intervalo de medición adecuado para manejar el flujo máximo y el mínimo. Flujos excesivamente bajos tienden a dar registros abajo y las fugas se incrementaran, un flujo excesivamente alto incrementa el desgaste. Un medidor de flujo debe operar normalmente alrededor del punto medio de su flujo relativo para un óptimo comportamiento.

5.17 PRODUCTO A MANEJAR

El producto a manejar es un parámetro muy importante en la selección del medidor de flujo. Debe de considerarse la compatibilidad química en la selección de los materiales de construcción de las superficies internas en contacto con el líquido. Productos abrasivos y con características pobres de lubricación pueden ser manejados de manera correcta empleando un sistema de lubricación automático que aislé los valeros y los engranes del producto y ofrezca una buena lubricación, así mismo, debido a las pequeñas tolerancias inherentes a los medidores de flujo de desplazamiento positivo, los sólidos no pasan fácilmente y deben ser convenientemente removidos por un filtro ó colador de malla aguas arriba del medidor.

Un medidor de desplazamiento positivo es un medidor volumétrico y puede dar exactitudes muy gruesas con un producto que contiene aire. Purgar este aire con un eliminador apropiado es muy importante. Grandes volúmenes de aire no solo afectan la exactitud del medidor, sino que también, pueden sobre girar y destruir el medidor.

Si considera una sección larga de tubería, llena de aire que se encuentra entre el producto líquido, dos tipos de problemas pueden presentarse: Primero, como la masa de aire pasa a través del medidor, la falta de resistencia viscosa incrementará la velocidad de los rotores.

Inmediatamente después de que una gran masa de aire pasa a través de un medidor de flujo, los rotores están al ras con las paredes esto puede sacudir severamente el sistema, Segundo, y el más importante, como la masa de aire pasa a través de una válvula de control aguas abajo del medidor, la masa completa de flujo se acelera provocando una excesiva sobre velocidad del medidor de flujo, causando daños a los rodamientos.

5.18 PARÁMETROS DEL MEDIDOR DE FLUJO

5.18.1 EXACTITUD

La exactitud es una indicación de la habilidad de un medidor de flujo para medir correctamente el líquido que pasa a través de él y es normalmente expresado en porcentaje del registro y puede ser expresada como:

$$\% \text{registro} = \frac{\text{cantidad Real}}{\text{Cantidad Medida}} \times 100 \dots (42)$$

Una curva típica en % de registro para un medidor de flujo de desplazamiento positivo puede fijarse al 25% de la capacidad de flujo. A grandes flujos la presión diferencial se incrementa exponencialmente, y esto incrementa la fuga del líquido, con la reducción del porcentaje de registro (incremento del factor del medidor). A flujos bajos existe un escasez de energía (presión diferencial) para desplazar el medidor de flujo y sus accesorios, Este incremento es relativamente significativo, que nuevamente resulta en la fuga y en la disminución del porcentaje de registro.

Todos los medidores de desplazamiento positivo tienen una exactitud primaria expresada en porcentaje de la velocidad. Esto significa que el intervalo recomendado de operación, a pesar de todo, la salida primaria del medidor de flujo (típicamente rotación de una flecha o pulsos) estará dentro del intervalo especificado del volumen real.

5.18.2 CONFIABILIDAD

La confiabilidad de un instrumento es su habilidad de cubrir un intervalo de flujo o gasto sin exceder los límites de exactitud especificados. El intervalo de medición de un medidor de flujo esta especificado como un máximo y un mínimo y esta directamente relacionado con el diseño del medidor y la viscosidad del producto. Un intervalo típico es del 20% al 100% del máximo flujo (5:1 del gasto), aunque 10:1 y mejores son poco usuales en este tipo de medidor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.18.3 VENTAJAS

- a) Los medidores de flujo de desplazamiento positivo miden el volumen total del líquido con una alta exactitud en un gran intervalo de flujo y son muy confiables sobre largos períodos de tiempo. (por estas razones son empleados casi exclusivamente en las estaciones de llenado de gasolina.
- b) Pueden medir líquidos moderadamente viscosos de forma exacta mientras ellos estén calibrados con el líquido adecuado y en algunos modelos el indicador puede ser ajustado para hacer lecturas correctas con el líquido a manejar.
- c) La lectura directa sobre la carátula permite una operación simple y pueden ser manejados por operadores no calificados.
- d) Este tipo de medidores no es afectado por disturbios del flujo aguas arriba y pueden ser instalados muy cerca de codos sin pérdidas de exactitud.

5.18.4 DESVENTAJAS

- a) Este tipo de medidores son voluminosos, sobre todo en tamaños grandes.
- b) Poseen altas pérdidas de carga.
- c) Los medidores de desplazamiento positivo son sensibles a los cambios de viscosidad, pero en menor grado que otro tipo de medidores.
- d) Este tipo de medidores puede ser dañado por partículas sólidas, por lo que filtrar el líquido es usualmente necesario.
- e) Los tipos de medidores más exactos son más caros.
- f) Si el medidor se atasca bloquearía completamente el flujo.
- g) Este tipo de medidores se utiliza únicamente en un limitado intervalo de presiones y temperaturas.
- h) Algunos tipos pueden introducir pulsaciones en el flujo.
- i) Nunca utilice este tipo de medidores con agua sin revisar primero si sus partes internas están hechas de materiales no corrosivos o compatibles con el agua.

5.19 MEDIDORES DE FLUJO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA GAS

Los medidores de flujo de desplazamiento positivo, para gas son similares a aquellos utilizados para líquidos y mantienen sus mismas ventajas y desventajas, sin embargo, existe una diferencia muy importante. La energía del fluido es proporcional a su densidad, y esto quiere decir, que el gas no proporciona fácilmente la energía suficiente para operar un medidor mecánicamente complejo. Consecuentemente, los medidores de flujo de desplazamiento positivo para gases tienen algunas variaciones en su diseño.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.20 MEDIDOR TIPO ROOTS

Propiamente hablando el medidor tipo Roots, es en efecto un medidor de engranes en el que la baja resistencia por fricción es obtenida utilizando unos rotores ligeros en forma de ocho, como se muestra en la figura 28.

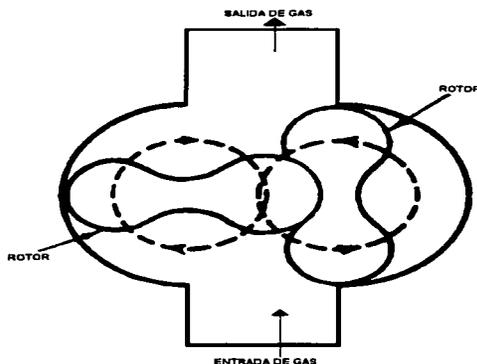


Figura 27
Unidad de medición de gas

El intervalo de medición es alrededor del 20: 1. con una buena linealidad sobre este intervalo, las exactitudes son de 0,5%. Este tipo de medidores pueden cubrir gastos mayores a 2 m³/s y presiones arriba de 80 bar, sin embargo este tipo de medidores son raramente empleados a presiones arriba de 10 bar o 20 bar debido al gran peso de los modelos para alta presión. Su comportamiento es raramente afectado por los disturbios del flujo o distorsiones del perfil de velocidad aguas arriba, pero es afectado por pulsaciones severas del flujo. Sus principales inconvenientes son que introduce pulsaciones cíclicas en el flujo y no permite suciedad en el fluido. por lo que un filtro debe instalarse aguas arriba.

5.21 MEDIDOR DE DIAFRAGMA

El medidor de diafragma es un medidor muy simple, seguro y de bajo costo, con una exactitud moderada, que es ampliamente utilizado como medidor de gas doméstico. Este es un medidor de desplazamiento positivo, aunque la única parte que rota es el mecanismo de lectura. Si este tipo de medidor es calibrado y bien mantenido puede alcanzar una exactitud de :f: 1 % sobre un intervalo de 20:1.

Este tipo de instrumento está disponible para gastos mayores de 0.1 m³/s, y su presión y temperatura están limitadas a condiciones cercanas a las ambientales.

5.22 MEDIDOR DE GAS DE TIPO HÚMEDO

El medidor de gas de tipo húmedo es probablemente el único tipo de medidor de desplazamiento positivo donde el problema de sellado entre las partes móviles sin fricción, es completamente resuelto sin recurrir a un compromiso difícil. Esta característica se alcanza gracias a un baño de agua que provee el sello, como se muestra en la figura 28. Se obtiene como resultado el medidor de flujo de gas más exacto conocido, con aplicación tan buenas como ± 0.25 sobre un intervalo de flujo de 10: 1.

Pero tiene algunos inconvenientes, como el alto costo que hay que pagar por su aplicación, la aplicación de rotación es baja y se debe evitar cualquier disturbio en el nivel del agua, es voluminoso para flujos grandes, debe manejar gases saturados y debe emplearse siempre nivelado. La aplicación de este tipo de medidor es como medidor de referencia para calibrar otros tipos de medidores.

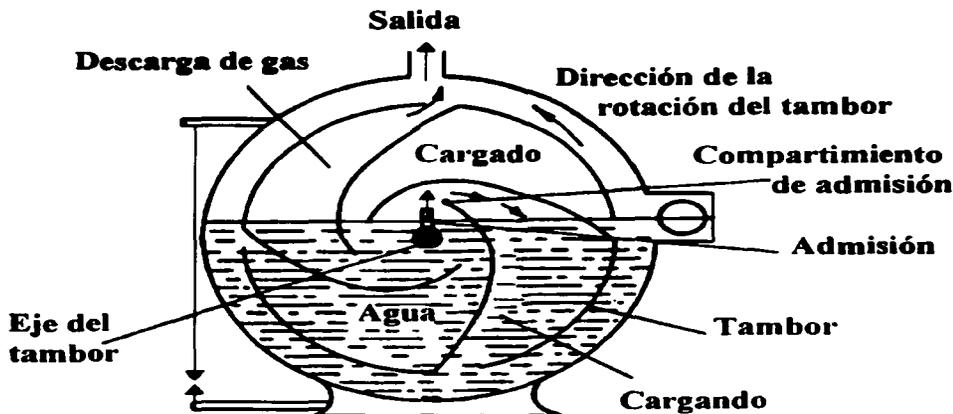


Figura 28
Medidor de gas tipo Húmedo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La historia ha demostrado que el volumen es una magnitud que siempre se ha formado parte de todo conjunto metrológico por muy incipiente que éste sea.

En los tiempos en los que el cuerpo del hombre era utilizado para medir todo lo conocido, las medidas de volumen no compartían esta realidad.

La medición de leche, agua, jugo, vino, así como los granos eran motivo de controversia tanto para pagar el esfuerzo de una jornada de trabajo como para intercambiar el producto. La construcción de los contenedores, que se usaron como medidas de volumen, se hicieron con los materiales que se tenían al alcance, pero éstos no resistieron la falsificación del hombre en su afán de obtener ventajas ilícitas, ni tampoco al deterioro con el paso del tiempo. Los herrajes y sellos con que eran provistos no eran respetados, y por mal uso al poco tiempo quedaban inservibles. Además de que era común que desaparecieran. Por ello se pensó en que deberían ser difíciles de transportar por lo que fueron esculpidos en piedra, fundidos en metales pesados y encadenados a las paredes de los castillos y ayuntamientos. De nada sirvió lo anterior ya que desaparecían cuando así era conveniente. La falsificación que de ellos se hacía determinó que se fabricaran en metales caros para la época, con un acabado artístico.

El advenimiento del Sistema Métrico marcó la virtual desaparición de estos patrones junto con el espíritu de injusticia que los acompañaba. En este nuevo sistema metrológico aparecieron las unidades de volumen y de capacidad. El volumen se relaciona con las magnitudes de masa y longitud. Por la definición del litro en 1901, como el volumen ocupado por un kilogramo de agua pura a su máxima densidad, a presión atmosférica a nivel del mar. Las pruebas realizadas demostraron que el litro así definido excedía en 28 millonésimas al decímetro cúbico. Para evitar las consecuencias de una posible confusión entre el decímetro cúbico y el litro, en 1964, la decimosegunda Conferencia General de Pesas y Medidas incorpora la definición del litro de 1901 y declara que la palabra litro puede ser usada como un nombre especial del decímetro cúbico, y recomienda que no sea utilizada para expresar los resultados de medidas de volumen de alta exactitud.

Los recipientes volumétricos están ampliamente diseminados en la industria y el comercio, y se usan para los mas distintos tipos de líquidos.

Como se menciona al definir el litro, el cual implica intrínsecamente las unidades de masa y volumen, el usar una u otra presente ventajas y desventajas; como se sabe la masa no cambia con las condiciones ambientales de temperatura y presión; al contrario de lo que sucede con el volumen, ya que para las transacciones con esta unidad es necesario especificar a que condiciones ambientales se lleva acabo esta, cosa que es muy difícil de llevar acabo en la practica; sin embargo, diariamente se utilizan recipientes volumétricos para la comercialización de líquidos comerciales y procesos industriales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Otro uso importante que se les da a los patrones de volumen es el de servir como patrones para la calibración de medidores de flujo del tipo volumétrico, los cuales son muy utilizados en la industria. La calibración de un medidor de cantidad con un patrón volumétrico puede alcanzar incertidumbres del orden de 0,1%. El contar con un patrón volumétrico se justifica por el hecho de que en la industria son muy utilizados, además de que los medidores de flujo requieren recalibraciones continuas al menos una vez por año.

5.23 PATRONES VOLUMÉTRICOS

5.23.1 PATRÓN

Medida materializada, aparato o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud para transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición.

5.23.2 PATRÓN VOLUMÉTRICO

Medida materializada destinada a definir o reproducir la unidad del dm^3 (litro) o un múltiplo o submúltiplo de éste para transmitirlos por comparación a otras medidas volumétricas.

Los recipientes volumétricos los podemos dividir en dos formas:

- a) Por su capacidad
- b) Por el tipo de calibración.

Por su capacidad los dividimos en pequeños y grandes volúmenes. Consideraremos como pequeños volúmenes los recipientes desde 1 mL, hasta 2 litros, normalmente fabricados de vidrio, y grandes volúmenes desde 2 L en adelante, normalmente fabricados de materiales metálicos.

Desde el punto de vista de la calibración, los patrones volumétricos pueden dividirse en recipientes para entregar o para contener. De hecho el diseño y manufactura de los patrones debe tomar en cuenta cual será la función del mismo, entregar o contener. Un recipiente calibrado para entregar, entregará un volumen específico de líquido para una temperatura, tensión superficial, viscosidad y un tiempo de vaciado determinado. En los recipientes calibrados para contener se determina el volumen que el recipiente contiene hasta la marca de aforo, por lo que en este caso no influye la viscosidad, tensión superficial y por supuesto el tiempo de entrega, aunque sí afecta la temperatura

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.23.3 PEQUEÑOS VOLÚMENES

Los criterios de diseño y construcción así como los procedimientos de calibración de los patrones volumétricos para pequeños volúmenes se basan en ISO 384.385,4787, NBS 602, NOM-BB-86- 1982. Estos patrones normalmente van desde 1 ml hasta 2 litros y son fabricados de vidrio borosilicato clase A y clase B. La diferencia es la calidad del vidrio utilizado y por lo tanto la calidad del mismo.

Los patrones para pequeños volúmenes que normalmente son usados como tales son: pipetas volumétricas, matraces volumétricos ,probetas y buretas



Figura 29
Medidores de pequeños volúmenes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

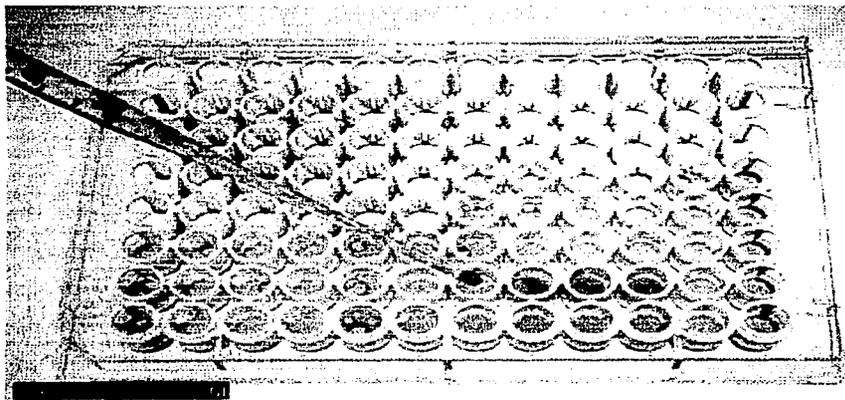


Figura 30
Pipeta

5.23.4 GRANDES VOLÚMENES

Al igual que para los patrones de pequeños volúmenes , los patrones para grandes volúmenes tienen diferentes formas dependiendo de su capacidad y uso. Para su fabricación normalmente se utiliza acero de bajo contenido de carbono o en acero inoxidable, la superficie interior puede llevar un recubrimiento que dependerá de la sustancia utilizar , aunque normalmente se recubren con teflón para permitir un escurrimiento rápido y total.

Las formas de estos patrones volumétricos varían mucho en función de su capacidad y uso aunque en general , las partes o accesorios con que debe constar son los mismos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

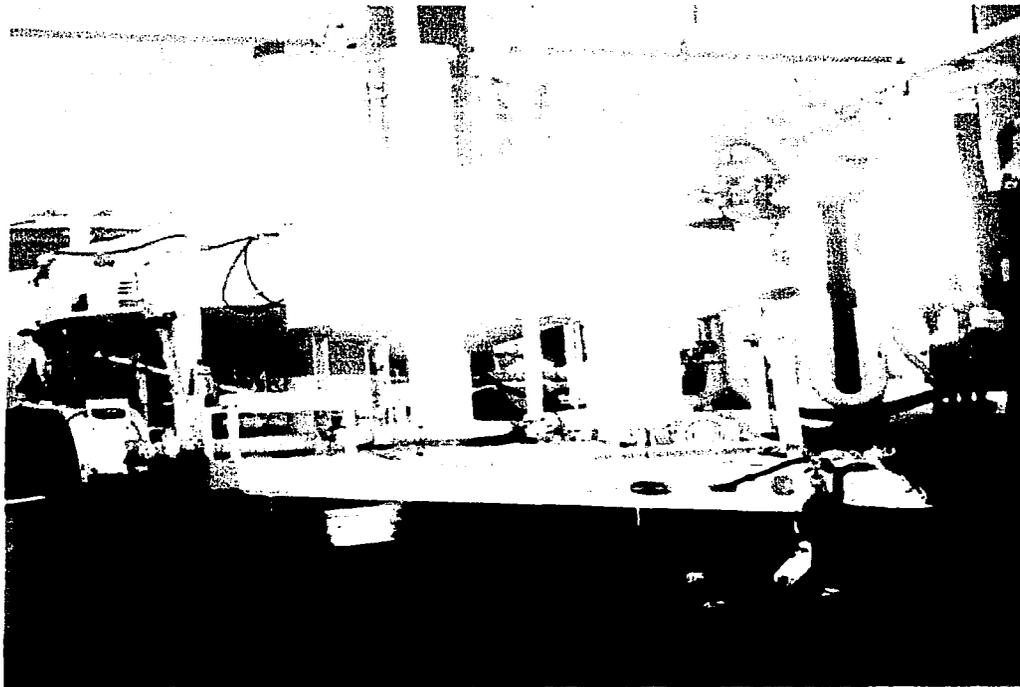


Figura 31
Ollas patrón volumétricas

5.24 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OLLAS PÁTRON

Existen normas y recomendaciones para el diseño y construcción de estos patrones, los siguientes puntos son sugerencias generales que pueden tomarse en cuenta cuando se requiere construir o adquirir un patrón volumétrico.

Se recomienda que el patrón sea construido de acero de bajo contenido de carbono, acero inoxidable o algún material que sea resistente a la corrosión debida al líquido con el cual estará en contacto.

El material debe tener la característica de ser buen conductor de la electricidad para permitir la disipación de la carga estática y el coeficiente de expansión no debe sobrepasar al del acero inoxidable en el intervalo de -40°C a 40°C . Los diámetros interiores del cuello recomendados por la NBS 105-3, deben ser tales que permitan la inspección y la incursión de la mano y el brazo para llevar a cabo la limpieza.

- La parte superior del cuello debe tener un abocardado o una banda de refuerzo para prevenir deformaciones y facilitar el vaciado del mismo.
- Los espesores del material deben ser tales que aseguren suficiente rigidez para prevenir deformaciones o distorsiones debidas al llenado, vaciado o traslado, para ello puede ser usadas bandas de refuerzo. En la tabla 10 se encuentran los espesores recomendados para estas bandas en función de la capacidad del recipiente según NBS 105-3.
- El fondo del recipiente debe ser cóncavo para recipientes con asentamiento circular para prevenir deformaciones del mismo por el peso del líquido.
- La forma del recipiente será tal que asegure un completo llenado y vaciado. Para ello cualquier sección transversal que sea perpendicular al eje vertical debe ser circular, excepto para conos excéntricos. Los requerimientos dimensional se encuentran según NBS 105-3.
- El ángulo mínimo recomendado del cono superior y cono inferior, (en caso de existir) medidos a partir de la horizontal, se muestran en la tabla 13.

El recipiente debe contar con un nivel montado a un lado del cuello. El tubo de la escala debe ser de vidrio borosilicato o plástico y debe estar limpio y libre de irregularidades o defectos, los cuales pueden distorsionar el menisco. Si es plástico éste debe ser rígido. El nivel debe montarse y desmontarse con facilidad para realizar limpieza y/o reemplazo del mismo en caso necesario.

Los recipientes de capacidad pequeña deben tener una asa rigidamente unida al cuello del recipiente para prevenir deformaciones cuando el recipiente esta lleno y se levanta para ser vaciado. Los recipientes de capacidad mayor deben de contar con asas para facilitar su traslado.

Las partes removibles como tubos, válvulas y tubos de escala deben contar con ellos para prevenir falsificaciones o intercambio de esas partes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

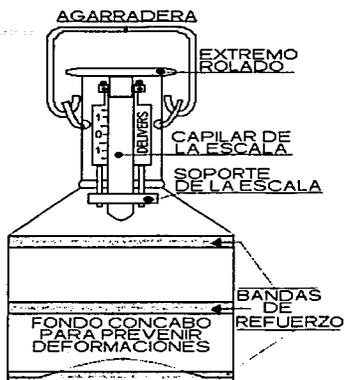


figura 32
partes de una olla patrón para pequeños volúmenes

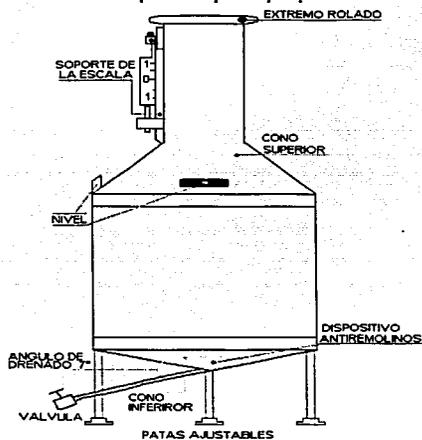


figura 33
Olla patrón para grandes volúmenes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

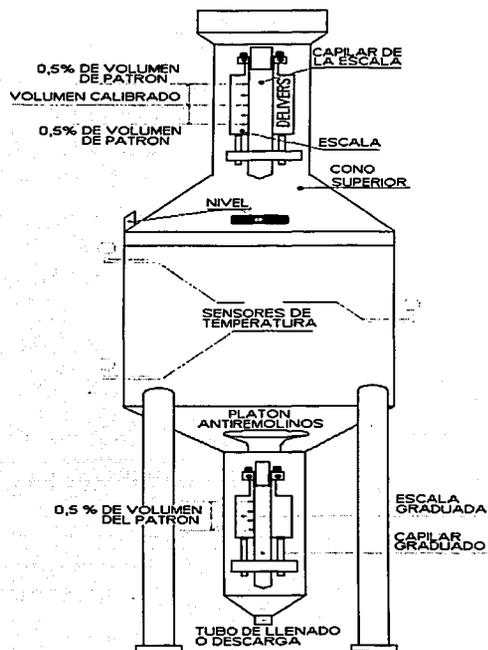


Figura 34
Partes de la olla patrón de grandes volúmenes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capacidad L	Mínimo espesor de la placa a utilizar Mm	Diámetro interior del cuello mm	Diámetro del tubin de la escala Mm	Mínimo ángulo del cono superior En grados(°)	Mínimo ángulo del cono inferior En grados(°)	Mínimo diámetro de tubería para el drenado mm
5	0,8	98	13	35	--	--
20	0,8	98	13	35	--	--
50	0,8	98	13	35	--	--
100	2,8	127	16	25	20	38
200	2,8	152	16	25	20	50
500	2,8	203	16	25	20	50
1000	2,8	254	16	25	20	50
2000	3,6	336	16	25	20	75
3000	4,4	336	16	25	20	100
5000	4,4	387	16	25	20	100

Tabla 13

Especificación general para la construcción de patrones volumétricos de gran capacidad

El material de la escala debe ser de un material rígido; la escala puede ser montada de frente al tubo o por detrás, si es así, el tubo debe protegerse debidamente. (debe contar con un mínimo de dos soportes para mantenerla firme), estos soportes serán a su vez soportados por dos guías ajustables y deben tener sus respectivos sellos para prevenir alteraciones.

La distancia mínima entre líneas adyacentes de graduación debe ser de 1.5 mm y el espesor de las mismas no debe ser más de 0,6 mm y no menos de 0,4 mm, en la tabla 4 se muestra la mínima graduación para las diferentes capacidades, también en la escala debe especificarse si el recipiente es para contener o para entregar.

La placa de especificaciones del recipiente debe estar fija y la información impresa debe ser inalterable. La información que debe contener la placa de especificaciones es la siguiente: nombre y dirección del fabricante, modelo, No. de serie, coeficiente de expansión y material de fabricación, volumen nominal a la línea cero de la escala, tiempo de drenado y tipo de calibración, que este tiene ya sea para entregar o contener.

En la tabla 15 se especifican diferentes materiales con su respectivo coeficiente de expansión térmica, y en la tabla 16 se encuentran los tiempos recomendados de vaciado para las diferentes capacidades.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capacidad L	Mínimo volumen graduado por arriba y por abajo del cero (mL)	Mínimo valor de graduación mL
5	250	20
20	250	20
50	250	20
100	1650	50
200	250	100
500	4650	200
1000	8300	200
2000	15600	500
3000	22800	500
5000	32400	500

Tabla 14
Graduación de la escala

Metal o aleación	Coefficiente cúbico de expansión por °C
Acero inoxidable tipo 304	47.7×10^{-6}
Acero inoxidable tipo 316	45.36×10^{-6}
Acero templado	33.48×10^{-6}
Aluminio	71.41×10^{-6}
Latón	57.24×10^{-6}

Tabla 15
Coeficiente de expansión térmica para diferentes metales o aleaciones.

Los recipientes de capacidades grandes deben contar con dispositivo para evitar la formación de remolinos, dicho dispositivo es fijado en la parte inferior del tanque; en caso de que el recipiente sea usado con hidrocarburos debe contar con tubo para la recuperación de vapores, normalmente el diámetro de éste es de 102 mm.

Deben ser equipados con un dispositivo para aliviar presión (20 a 35 kPa). Así también debe contar con escalera y una plataforma enfrente de la escala para tomar la lectura, además debe contar con una o dos preparaciones para insertar termómetros con un ángulo de 150 respecto de la horizontal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las tolerancias máximas permitidas según la capacidad se dan en la tabla 16.

Capacidad (L)	Tolerancia	Tiempos de drenado
5	± 5 mL	10 s
20	± 15mL	20s
50	± 25 mL	1 min
100	± 60 mL	1 min
200	± 100 mL	1 min
500	± 150mL	1 min
1000	± 300 mL	2 min
2000	± 600mL	2 min
3000	± 800 mL	2 min
5000	± 1400mL	2 min.

Tabla 16

Tolerancia máximas y tiempos de drenado

5.25 CALIBRACIÓN DE ESTE TIPO DE PATRONES

La calibración de los patrones volumétricos, como se mencionó previamente puede hacerse para contener o para entregar. cualquiera que sea es posible calibrarlos por cualquiera de los siguientes dos métodos:

- Método gravimétrico
- Método volumétrico

El empleo de uno u otro depende principalmente del grado de incertidumbre que se quiera tener, aunque otra limitante importante son los equipos con que se cuente. Con el método gravimétrico se logran incertidumbres del orden del 0,03%, dependiendo de las incertidumbres de los equipos con que se disponga, con el método volumétrico se pueden lograr incertidumbres de 0.1% dependiendo del patrón de referencia que se utilice.

5.25.1 MÉTODO GRAVIMETRICO

La calibración primaria de los patrones volumétricos se realiza por el método gravimétrico, este método esencialmente consiste en determinar la masa de agua (agua destilada) contenida en el recipiente; una vez determinada la masa, se mide la temperatura para posteriormente determinar la densidad del agua destilada con ayuda de tablas o empleando formulas experimentales. Con densidad y masa podemos determinar el volumen de agua contenido en el recipiente a las condiciones ambientales a las cuales se realice la calibración.

También es posible determinar la densidad con una balanza hidrostática, todo depende de la incertidumbre que se quiera alcanzar.

5.25.2 MÉTODO VOLUMETRICO

En este tipo de calibración, la incertidumbre aumenta debido a que el patrón volumétrico con el que se va a realizar dicha calibración, previamente fue calibrado por el método gravimétrico (por lo que ya trae una incertidumbre). Esta calibración consiste en comparar el volumen de el patrón contra el volumen de la olla volumétrica. Se realizan las correcciones por temperatura y sus incertidumbres para así poder emitir su certificado de calibración.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO VI

PROCEDIMIENTO

DE CALIBRACIÓN

DEL MEDIDOR

POR MEDIO DE LA

OLLA PATRÓN

78-A

ENEP ARAGON

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestra el patín de medición donde se colocara el medidor a calibra y la olla patrón, así como su uso y los movimientos en las válvulas para realizar la corrida de medición. También los datos que se debe de obtener tanto en la medición como datos de fabricante para las correcciones de las lecturas y la obtención de el nuevo factor así como la ecuación de la línea de mejor ajuste

6.2 COMPONENTES DEL SISTEMA PARA REALIZAR LA CALIBRACIÓN

Para realizar la calibración de un medidor de desplazamiento positivo mediante una olla patrón (patrón volumétrico). Se debe tomar en cuenta que las capacidades de las ollas patrón no son muy grandes (hasta 5 000,00 L) por lo que es una limitante para determinar el flujo máximo al cual se puede calibrar, esto es, que si un medidor de flujo tiene un flujo de trabajo máximo de 10 00.00 L/m solamente se podrá calibrar a un flujo de 5 000,00 L/m.

Teniendo esta consideración el flujo máximo con el que se puede calibrar mediante las ollas se determinan los siguientes parámetros y equipo.

- Contenedor del agua con el que se va a realizar la prueba mínimo 6000,00 L
- El diámetro de la tubería para proporcionar al sistema el caudal adecuado 6"
- La capacidad de los motores o bombas para aumentar la velocidad del el flujo y que den un caudal máximo de 3 600,00 L/m.
- Las válvulas para el control del sistema y regulación de flujo

A continuación se muestra el diagrama del patín de medición donde se realizara la calibración.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

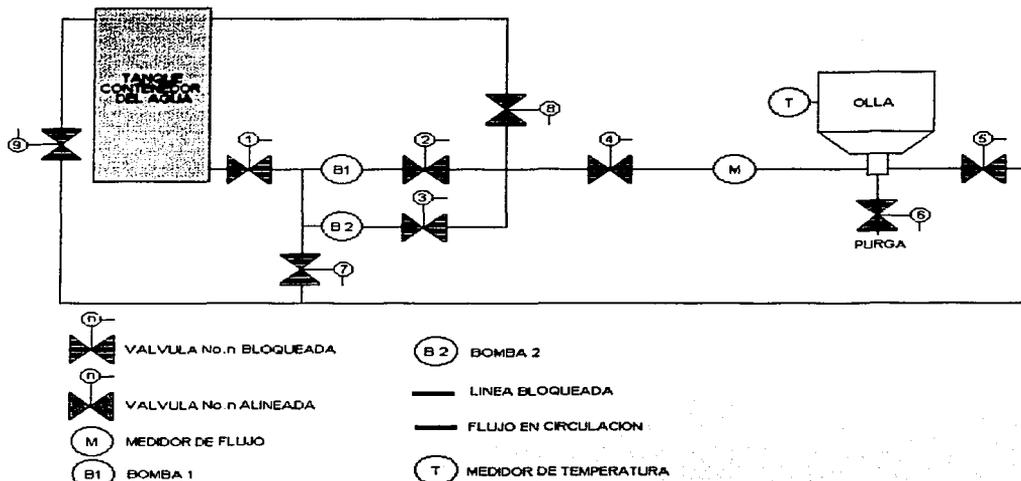


Figura 35
Patín de medición

- La válvula 1 su función es de proporcionar el caudal al sistema o bloquear totalmente el caudal.
- Las válvulas 2 y 3 son para alinear las bombas (correspondientemente B1 y B2) o motores que darán un aumento en la velocidad del flujo.
- La válvula 4 regula el flujo en el que se requiera trabajar
- El medidor de flujo es el que se va a calibrar.
- La olla es la medida patrón con la que se va a comparar el medidor de flujo.
- La válvula 5 es de llenado y/o vaciado de la olla patrón
- La válvula 6 es para purgar la olla y que esta quede en el nivel adecuado.
- Las válvulas 7 y 8 para regresar el líquido hacia el depósito
- La válvula 9 para poder recircular el líquido.

En cuanto se tiene el medidor físicamente se determina el diámetro de su entrada y salida (dato de Fabrica 2", 3", 4" etc.) así como el tipo de conexión, se determina el rango de flujo en que se va a calibrar según dato del cliente o fabricante. Con este dato se elige la bomba para darle mas velocidad al flujo y obtener el flujo apropiado, las conexiones correspondientes para poder conectar la toma de agua del recipiente de 6 000 L hacia el medidor de flujo y del medidor de flujo hacia la olla patrón la cual se debe elegir adecuadamente para que la prueba dure un minuto como mínimo. Esto es, que si un medidor tiene un flujo máximo de 1 500, 00 L/m la olla debe ser mínimo de 1500, 00, pero la que más se aproxima es una de 2000,00 L, por lo que se deberá conectar esta al sistema.

Teniendo ya estas conexiones se presiona la línea abriendo las válvulas 1,2,4,5 y 9 se prende la bomba 1 y se espera a que se llene la línea (ver figura 36), para posteriormente cerrar la válvula 9, y apagara la bomba 1(ver figura37). Esta acción hace que la línea se quede presionada y podemos observar que no existan fugas, en caso que existan se tienen que eliminar al 100% .

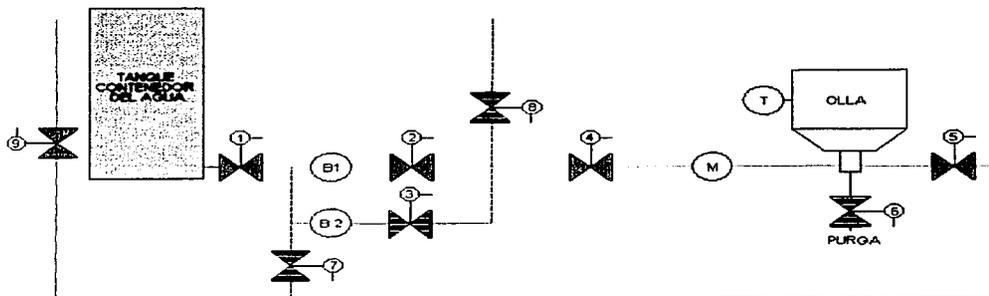


Figura 36

Patín alineado en forma de recirculación

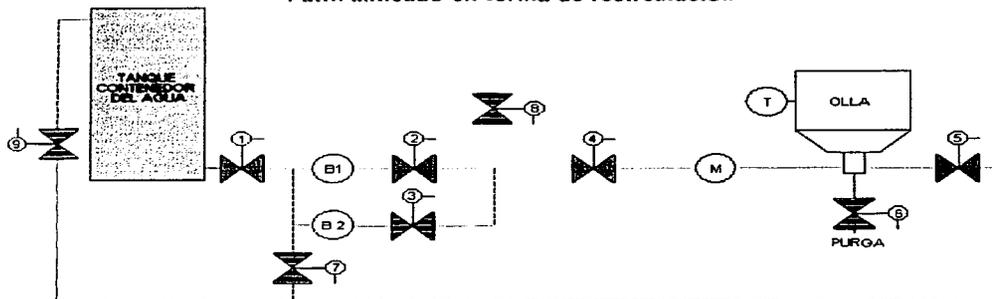


Figura 37

Patín alineado empaquetado

Cumpliendo con el requisito anterior se alinea el patín en forma de recirculación, esto es se alinean (abre) las válvulas 1,2,4,5 y 9 se enciende la bomba 1.haciendo que el agua recircule por el sistema, se toma en cuenta que si el tanque contenedor es de 6000 L se debe dejar circular por el sistema la cantidad de aproximadamente 18 000 L. Este evento es con el fin de ambientar todos los elementos del sistema y que se tenga una temperatura homogénea a la hora de comenzar las corridas y reducir la incertidumbre del sistema.

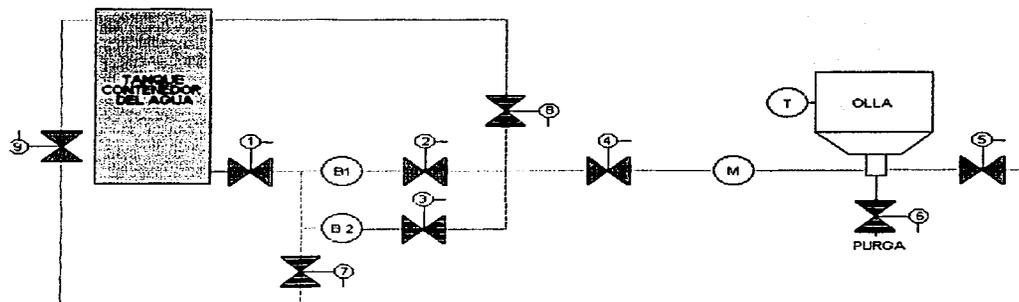


Figura 38

Patín alineado para homogenizar la temperatura

para poder comenzar con la corrida primeramente se necesita que se bloquee(cierre) las válvulas 4,5, 9 y la válvula 6 alinearla (abrir) alinearla para purgar el líquido y dejarla al nivel, ya estando a nivel se cierra la válvula 6

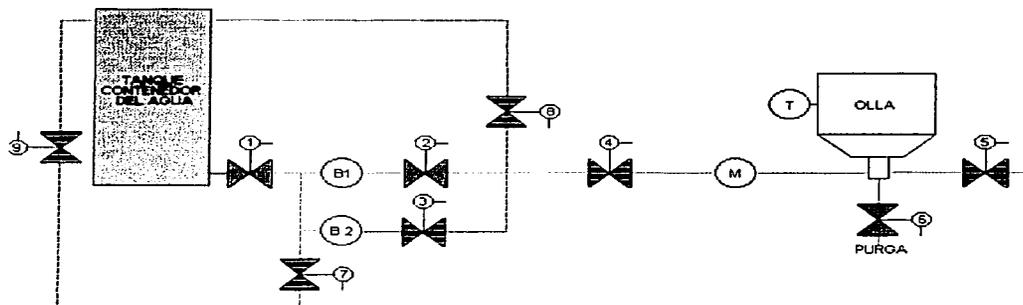


Figura 39

Patín listo para calibración

Para comenzar la calibración se requiere de tres personas A, B y C. La persona A será encargada de verificar el nivel el tanque y de arrancar y paro de la(s) Bomba(s). La persona B es la encargada de regular el flujo por medio de la válvula No.4 con cronometro en mano para comparar el resultado con el de la corrida. La persona C es la encargada de realizar la medición en el medidor a calibrar y la olla.

6.3 CORRIDA

La persona A alinea las válvulas 1,2, y 8 (esta ultima con el fin de seguridad y no dañar los medidores) y enciende la bomba 1, se posiciona en la válvula 8 esperando la orden de la persona B para que él comience a alinear la válvula 4, y la persona A vaya bloqueando la válvula 8 hasta encontrar el flujo, esto indica que la válvula 8 y 4 pueden estar en las siguientes posiciones.

- Válvula 8 cerrada total mente válvula 4 abierta totalmente y obtendremos el flujo máximo.
- Válvula 8 y 4 abiertas al 50% nos dará la mitad del flujo.
- La válvula 8 abierta al 75% y la válvula 4a al 25% nos dará $\frac{1}{4}$ del flujo.
- Etc.

En fin hay innumerables combinaciones y eso va a depender de las necesidades del flujo que se requiera.

La persona C en cuanto observe que el flujo comienza a circular su cronometro tiene que empezar a correr y esta deberá estar en la posición de la mirilla de la olla en donde se marca su nivel total (1000L,2000, 2500, etc.).

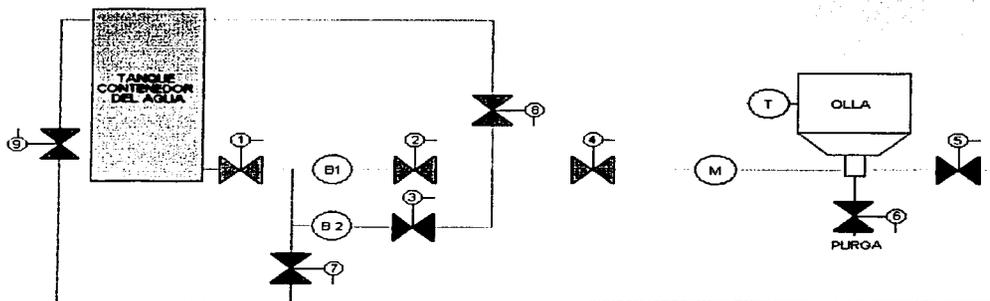


Figura 40
Patín calibrando

En cuanto la persona C observa que el agua alcanza el volumen total de la olla da la voz de mando para que se cierre la válvula 4 y se apague la bomba 1 y se cierre la válvula 8. Se toman las lecturas del medidor de flujo y la olla para colocarlos en la hoja de calculo correspondiente, teniendo ya los datos se realiza la maniobra para vaciar la olla.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

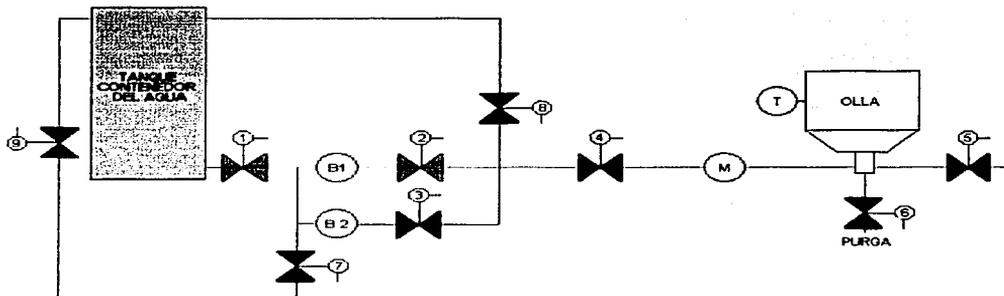


Figura 41

Patin determinación de la corrida

Para retornar el liquido hacia el contenedor se alinean las válvulas 5,7,2 y 8 cerrando la válvula 1 y se prende la bomba I.hasta que el contenido de la olla sea cero.

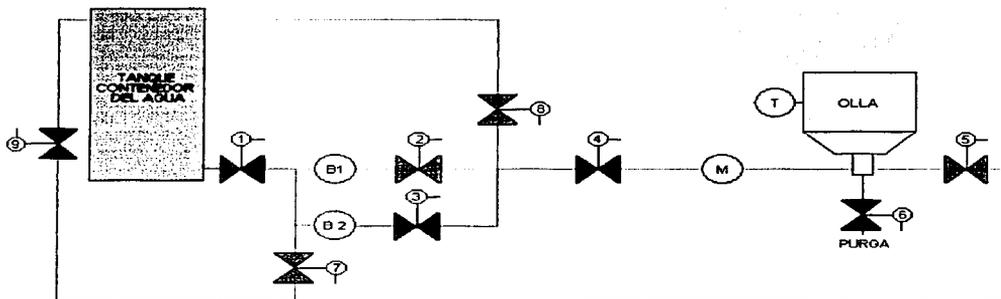


Figura 42

Patin en forma de recuperación del producto

Se deja escurrir la olla por un tiempo de 60 seg. Como mínimo para que resbale el liquido adherido a las paredes y se la siguiente lectura real. El tiempo que se deje escurrir la olla en la primer corrida deberá ser el mismo en todas las corridas.

Terminando este evento se empacka nuevamente el patin y se prepara para realizar la corrida siguiente, de las cuales se realizan un mínimo de 5 corridas por flujo y con 3 flujos, el flujo mínimo, flujo medio y flujo máximo, Con las 5 corridas es mas que suficiente porque a la hora de realizar los cálculos. Se observa si tiene repetibilidas y que tanto esta desviado.

6.4 TOMA DE DATOS PARA LA CALIBRACION DE EL MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Para poder determinar la desviación, la incertidumbre la repetibilidad y el meter-factor se deben de tomar las lecturas de ambos medidores, así como la de la temperatura y vaciar los datos en la siguiente hoja, realizar la corrección del volumen del medidor afectado por el k-factor, el volumen real en la olla afectado por la temperatura. Obteniendo los datos se determinara si la desviación e incertidumbre se encuentren dentro de los requerimientos del el cliente, dando esto por hecho se multiplica el K-factro por el meter-factor para encontrar el nuevo k-factor.

Al realizar la corrida existen datos que se deben de tener a la mano, par poder realizar los cálculos como: corrección por temperatura, por el k factor etc. Los cuales se mencionan a continuación:

- Temperatura en el medidor de desplazamiento positivo y en la olla patrón.
- Lectura inicial del medidor de desplazamiento positivo.
- Lectura final del medidor de desplazamiento positivo.
- Lectura del volumen total en la olla patrón.
- Tiempo que tarda en llenarse la olla

En el caso de la temperatura se deberá tomar la temperatura al iniciar la prueba aproximadamente a la mitad y cuando termina la prueba, con estas tres lecturas se realizara la operación de la media y se determina la temperatura de prueba, con este dato se realizara la corrección por temperatura.

Los valores de lectura inicial y final son para determinar el volumen total que paso a través del medidor de desplazamiento positivo, la diferencia de la lectura final menos la inicial nos dará un volumen, ha este volumen se le multiplica por el k-factor y se le hace la corrección por temperatura, para obtener el volumen corregido.

En el caso de la olla patrón se toma la lectura final simplemente, porque esta ya sea que debe de estar vacía o al nivel del cero (según el diseño), según la capacidad de la olla se tiene el valor del total que puede contener (20L,100L, 2000L, etc.) con un rango proporcional al volumen total de la olla (ya sea en ml, L etc.), para a sí dar un valor lo más cercano al real. Este valor será corregido por la temperatura leída en la olla.

En cuanto se tienen los dos volúmenes corregidos respectivamente, del medidor de desplazamiento positivo y el volumen de la olla. Se tendrá que dividir el volumen de la olla entre el volumen del medidor para determinar el Meter-Factor del flujo en el que se corrió la prueba.

El tiempo será útil para determinar la velocidad del caudal, y así identificar el K-factor que se deberá utilizar para ese caudal.

Para cada corrida se deberá realizar los pasos anteriormente descritos. Así por cada corrida se obtendrá un Meter-Factor. Con estos factores se calcula la desviación que tiene el medidor con respecto de la olla, y en caso de que su desviación sea la adecuada se sacara la media de los Meter-Factors para posteriormente multiplicarla por el K-Factor anterior y obtener uno nuevo K-factor para el flujo en el que se realizaron las corridas.

Para poder determinar el comportamiento del medidor se debe de realizar como mínimo la calibración en tres puntos (bajo, medio y alto), por lo tanto, se obtendrán alrededor de un mínimo de 15 corridas (5 por cada flujo), por ende se obtienen tres K-Factors nuevos, uno para cada flujo correspondientemente (bajo, medio y alto), obteniendo estos nuevos factores se realizaran:

Tres corridas de comprobación, por flujo que se haya calibrado, esto es con el nuevo K-Factor para comprobar, que este es el adecuado y que la desviación sea casi nula.

Con estos tres K-Factors y tres flujos se realiza por el método de mínimos cuadrados el ajuste de la mejor recta.

6.5 EJEMPLO DE CALIBRACIÓN DE UN MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO MEDIANTE UNA OLLA PATRON

Se tiene un medidor de desplazamiento positivo de la marca Smeth Meter de 4" de diámetro, con conexión bridada y cara realzada para 150 # (libras). Este medidor maneja un flujo máximo de 1600 L/min y un mínimo de 400 L/min. Y teniendo este los siguientes K-Factors:

- Para 1600 L/min un K-F = desconocido (flujo alto)
- Para 1000 L/min un K-F = 0.9940 (flujo medio)
- Para 400 L/min un K-F = 0.9960 (flujo bajo)

Este medidor se calibrara en los flujos alto medio y bajo, y como observaos no se tiene el k-f del flujo alto, por tal motivo se tomara el 1 como su K-F.

Esta calibración se realizara mediante una olla volumétrica patrón con una capacidad de 3000 L. Con los siguientes datos de el fabricante.

- Sistema de llenado por el fondo
- Graduación mínima de 500ml
- Mínimo volumen graduado por arriba y por debajo de 25 000 ml
- Coeficiente cúbico de expansión térmica de 47.7×10^{-6} por °C

En la siguientes tablas se observan los datos obtenido por la calibración realizada bajo las condiciones anteriormente mencionadas, así como la forma en como se manejan los datos para obtener los resultados para poder determinara su repetibilidad, desviación e incertidumbre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.5.1 EJEMPLO DE CALIBRACIÓN A FLUJO ALTO

DATOS DE LA OLLA PATRÓN										DATOS DEL MEDIDOR A CALIBRAR	
Flujo	Temperatura	Volumen de	Volumen	Lectura	Lectura	Volumen	K-factor	Volumen	Meter	Incertidumbre	
L/min	°C	la olla	Corregido	inicial	Final	L		corregido	factor	relativa	
		L	L	L	L	L		L		+	
1560	24.0	3010.50	3013.9464	0	3028.94	3028.94	1	3028.94	0.995050	0.0006	
1570	24.3	2994.50	2997.9710	3028.94	6040.91	3011.97	1	3011.97	0.995352	0.0298	
1580	23.7	3001.00	3004.3926	6040.91	9060.30	3019.3926	1	3019.3926	0.995032	0.0024	
1560	23.0	3008.50	3011.8006	9060.30	12087.10	3026.8006	1	3026.8006	0.995044	0.0012	
1570	22.5	3015.00	3018.2358	12087.10	15119.628	3032.5246	1	3032.5246	0.995288	0.0233	
1560	21.0	3019.50	3022.5246	15119.63	18157.152	3037.5246	1	3037.5246	0.995062	0.0006	
1565 Flujo promedio				K-Factor promedio		1	M-F promedio	0.995056			

Temperatura de referencia	°C
	20

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

6.5.2 EJEMPLO DE CALIBRACIÓN A FLUJO MEDIO

DATOS DE LA OLLA PATRON									Temperatura de referencia
Flujo	Temperatura	Volumen de la olla	Volumen Corregido	Lectura inicial	Lectura Final	Volumen	K-factor	Volumen corregido	Meter factor
L/min	°C	L	L	L	L	L		L	
990	22.0	3022.50	3025.6718	18157.15	21190.8718	3033.7218	0.9940	3015.51947	1.00337
1000	22.5	3013.00	3016.2337	21190.87	24214.9018	3024.0300	0.9940	3005.88582	1.00344
980	21.8	3016.50	3019.6367	24214.90	27243.02	3028.1182	0.9940	3009.94949	1.00322
1010	21.2	3002.50	3005.5362	27243.02	30256.5087	3013.4887	0.9940	2995.40777	1.00338
990	21.0	3024.00	3027.0291	30256.51	33291.9	3035.3913	0.9940	3017.17895	1.00326
1000	20.9	3011.00	3014.0018	33291.90	36313.7535	3021.8535	0.9940	3003.72238	1.00342
995 Flujo promedio					K-Factor promedio		0.9940	M-F promedio	1.00337

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

6.5.3 EJEMPLO DE CALIBRACIÓN A FLUJO BAJO

DATOS DE LA OLLA PATRÓN				DATOS DEL MEDIDOR A CALIBRAR						Temperatura de referencia
Flujo L/min	Temperatura °C	Volumen de la olla L	Volumen Corregido L	Lectura inicial L	Lectura Final L	Volumen L	K-factor	Volumen corregido L	Meter factor	
420	20.5	3005.0	3007.9384	36313.750	39337.970	3024.2200	0.9960	3012.1231	0.99861	
398	20.2	3003.5	3006.3940	39337.970	42360.200	3022.2300	0.9960	3010.1411	0.99876	
400	19.9	3000.5	3003.3482	42360.200	45379.450	3019.2500	0.9960	3007.1730	0.99873	
410	19.5	3006.0	3008.7960	45379.450	48404.230	3024.7800	0.9960	3012.6809	0.99871	
400	19.3	3002.0	3004.7637	48404.230	51424.850	3020.6200	0.9960	3008.5375	0.99875	
400	19.0	3004.0	3006.7225	51424.850	54447.750	3022.9	0.9960	3010.8084	0.99864	
400 Flujo promedio				K-Factor promedio			0.9960	M-F promedio	0.99872	

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

6.6 DETERMINACION DE LA RECTA DE MEJOR AJUSTE

Así mismo ya teniendo los datos se realiza el método de los mínimos cuadrados para determinar la ecuación de la recta. Con esta ecuación se podrá determinar un K-Factor para un flujo en especial que no se encuentre dentro de la calibración.

X	Y	Sumatoria de	Sumatoria de	Sumatoria de	Sumatoria de
Flujo	K-factor	X_i	X_i^2	Y_i	$X_i Y_i$
1565	0.9951	2960	3599250	2.9871	2947.525
995	0.9973				
400	0.9947				
		N=3			

Las ecuaciones nos quedarían:

$$2.9871 = 3 a + 2960 b \dots\dots\dots(43)$$

$$2947.525 = 2960 a + 3599250 b \dots\dots(44)$$

despejando a "a" de 1 obtenemos

$$a = \frac{2.9871 - 2960b}{3} \dots\dots\dots(45)$$

substituyendo "a" en 44

$$2947.525 = 2960 \frac{2.9871 - 2960b}{3} + 3599250b$$

despejando a b tenemos que

$$b = 3.7 \times 10^{-6}$$

substituyendo b en 45

$$a = \frac{2.9871 - 2960(3.7 \times 10^{-6})}{3}$$

$$a = 0.99205$$

Donde la ecuación de la recta nos quedara:

$$Y = 0.99205 + (3.7 \times 10^{-6}) x \dots\dots(46)$$

En donde si deseamos obtener el K-Factor(Y) de un flujo determinado solo tendremos que sustituir a x por el flujo que se quiera saber su valor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

TESIS CON
FOLIO DE ORIGEN

7.1 CONCLUSIONES

En la actualidad existen distintos patrones para poder calibrar instrumentos o aparatos que puedan realizar mediciones y estos son muy importantes en nuestras vidas. De hecho forman parte cotidiana de ésta, como pueden ser: los relojes (midiendo el tiempo), los velocímetros del carro (Km/h), balanza(Kg), etc. Por el hecho de estar en nuestra vida cotidiana y que en algunos caso, puede que esas mediciones traigan como consecuencia pérdidas monetarias y hasta humanas, es importante que se encuentren calibrados o por lo menos se tenga una referencia con respecto a una medida patrón.

Debido a la experiencia que obtuve en cuatro años, realizando este tipo de calibraciones concluyo, que la calibración de el medidor de desplazamiento positivo mediante la olla patrón es un procedimiento muy confiable, debido a que las desviaciones máximas encontradas fueron del 0.2%. Y la repetibilidad observada durante este tiempo fue muy buena y con una incertidumbre aceptable para así reportar las mediciones con un alto grado de confiabilidad. Estos factores hacen que la calibración cumpla su objetivo y así mantenerlos en buenas condiciones con respecto a la medición, para que se venda lo justo y que además entre dentro de sus políticas de calidad para cumplir con la norma I.S.O. Esto dentro de las terminales de almacenamiento y distribución (T.A.D.) de PEMEX.

Este tipo de calibraciones es medular para el desarrollo de las empresas y muy en particular del país.

El alcance que se obtuvo durante este tiempo, fue que las calibraciones de los medidores para el llenado de autotanques, para repartir los productos petrolíferos, se realizaron a nivel nacional en cada una de las T.A.D. Satisfaciendo la necesidad de ésta empresa de mantener sus medidores calibrados y certificados para máximo aprovechamiento del producto.

De lo anterior se observa que el objetivo se a cumplido, mostrando la metodología para la calibración de un medidor de desplazamiento positivo mediante una olla patrón. Dejando esta información como antecedente para que cualquier persona interesada en el tema encuentre esta información resumida y practica.

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Sistema General de Unidades.
Norma Oficial Mexicana NOM-Z-1-1981
- 2.- Volumen Flow Measurements.
Autor: E. Mattingly George
Editorial: CENAM (Centro Nacional de Metrología)
- 3.- Fundamentos de la Medición de Fluido
Autor: De Carlo
Editorial: ISA
- 4.- Hidráulica General
Autor: Sotelo
Editorial: Limusa
- 5.- Introducción a la Mecánica de Fluidos
Autor: Roca Vila
Editorial: Limusa
- 6.- Measuring Systems For Liquids Other Water
OMIL R 117 (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
- 7.- Curso Para La Formación de Unidades de Verificación
Autor: Personal del CNAM
Editorial: CENAM
- 8.- Bitácora de Obra de las Calibraciones Realizadas en la Zona Occidente
Autor: Eduardo Uribe
- 9.- NOM-SCFI-1993 Sistema general de unidades de medida
- 10.- NMX-13-1977 Guía para la estructuración y presentación de las normas oficiales Mexicanas.
- 11.- International ISO 31-0.1992. Quantities and units part 0

