



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA
GUTIÉRREZ

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PROYECTO:

**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA
INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO**

PRESENTA:

DE LA CRUZ OCAÑA JESSY

CARRERA:

INGENIERÍA QUÍMICA

ASESOR DE CENAM: ARTURO A. DAUED MENDOZA

ASESOR DE ITTG: RENE DIAZ CUESTA

PERIODO 15 DE JULIO A 15 DE DICIEMBRE

INTRODUCCIÓN

Las mediciones juegan un importante papel en la vida diaria de las personas. Se encuentran en cualquiera de las actividades, desde la estimación a simple vista de una distancia, hasta un proceso de control o la investigación básica. La Metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo y el conocimiento sobre su aplicación es una necesidad fundamental, ya que la medición permite conocer de forma cuantitativa, las propiedades físicas y químicas de los objetos. Los densímetros digitales tipo oscilatorio tienen la característica de estar equipado con la tecnología de medición de densidad digital más avanzada del mundo, el modelo que se utilizara para realizar pruebas de medición, es el Anton Paar que proporciona una incertidumbre de $1 \cdot 10^{-6} \text{ g cm}^{-3}$ y controla la temperatura a 0.01 K. La técnica que emplean los densímetros se basa en los principios de oscilación mecánica regidos por las leyes del movimiento armónico simple. El fundamento de la medida se basa en el cambio de la frecuencia natural de resonancia que experimenta el oscilador cuando este contiene diferentes líquidos a una temperatura determinada. La muestra se introduce en un tubo de vidrio de borosilicato en forma de U que se excita para que vibre a su frecuencia característica. La frecuencia cambia según la densidad de la muestra y en una conversión matemática, se puede medir la densidad, que se calcula a partir del cociente del período de oscilaciones del tubo en U y el oscilador de referencia:

$$\text{Densidad} = KA * Q^2 * f_1 - KB * f_2$$

KA, KB = Constantes del aparato

Q= Cociente del período de oscilación del tubo en U dividido por el período de oscilación del oscilador de referencia

f1, f2= Términos de corrección de temperatura, viscosidad y no linealidad



De acuerdo al estudio de los densímetros oscilatorio, se llevara a cabo experimentalmente una serie de mediciones, con líquidos que tendrán como característica, la variación en diferentes puntos de densidades y a su vez cambios de temperatura conociendo como punto de referencia su viscosidad dinámica de cada uno ellos, en lo cual se lograra encontrar una ecuación de indicación de corrección experimental y teórica para poder realizar una comparación de estudios y conocer como el equipo indica la corrección ,conociendo que la muestra del fluido tiene un efecto de amortiguamiento de la vibración,

En función de la viscosidad del fluido en cual tiene el efecto de mover ligeramente los nodos de oscilación, estos dos efectos combinados producen un error de corrección de viscosidad en K en kg m^{-3} del orden $k \approx 0.05\sqrt{n}$ en donde n es la viscosidad en mPa s .

Temperatura (°C)	Líquidos seleccionados					
15	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
18	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
20	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
22	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
25	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol

Tabla 1. Líquidos seleccionados para el estudio de las mediciones, con un criterio de intervalos de mayor y menor valores de densidad y viscosidad, en evaluación de diferentes cambios de temperatura (°C)



CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA EMPRESA

Nombre o razón social: CENAM (Centro Nacional De Metrología Ubicación de la organización: km 4.5 Carretera a los Cués Municipio El Marqués 76246 Querétaro, México.

C. P: 76246

Fax: 442-2-11-05-98

Teléfono: 442-2-11-05-00

Giro de la organización:

Servicios de metrología

Tamaño de la empresa:

Grande

1.2 BREVE HISTORIA

En el ámbito internacional. Para la metrología mexicana, la llegada a México de los prototipos nacionales marca sin duda un mito, cuyos antecedentes y acontecimientos posteriores son reseñados en esta aportación a partir de los elementos históricos de los que ahora disponemos, incluidos los testimonios del autor como participante de primera fila en este interesante proceso.

El inicio de la historia de la metrología no se ha identificado con cierta exactitud, aunque no hay evidencias, se deduce que es a partir de la creación de hombre. Existe un lugar en el cual se guardan los patrones de las medidas de peso y capacidad utilizadas en México, para que usted reciba kilos de a kilo de frijoles o de azúcar, litros de a litro de leche o gasolina, y un sinfín de productos que se venden en el mercado y deben ser medidos. Este lugar es el Centro Nacional de Metrología (CENAM), encargado de medir la vida cotidiana nada más, pero nada menos.



FECHAS IMPORTANTES

1979

Se presentaron los programas de acciones para invertir en el Plan Nacional de Desarrollo Industrial: Sistema Nacional de Calibración y el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de pruebas, merecieron la aprobación del presidente de la República, Lic. José López Portillo. En ese mismo año con planteamientos sobre la necesidad nacional de la creación del CENAM y fundamento en los estudios 1975, se inició la tramitación de un préstamo que se obtuvo del Banco Mundial para la formal instalación de ese laboratorio.

La dirección general de Normas (DGN) de la secretaria de patrimonio y Fomento Industrial requirió el auxilio de instituciones y personalidades nacionales de reconocido prestigio en el campo de la metrología para ayudar en el establecimiento del CENAM.

1984

El proyecto CENAM se traslada a las instalaciones del CINESVESTAV-IPN.

1889 1991

Con el respaldo que le dio la ley (Ley Federal sobre Metrología Y Normalización), se volvió a revivir la necesidad de tener instalaciones más apropiadas para la operación de un laboratorio primario como el caso del CENAM. Se realizaron dos proyectos de envergadura nacional: el programa para la Reestructuración del “SISTEMA METRICO NACIONAL “Presentando por INFOTEC y el “Estudio de Factibilidad sobre las Alternativas de Desarrollo del Centro Nacional de Metrología” realizado por encargo de la SECOFI, en la que el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CIVESTAV) de Instituto Politécnico Nacional se responsabilizó de la parte técnica.



1990

México ingreso a la Organización Internacional de la Metrología Legal (OIML). Su estructura organizativa es idéntica a la del Comité General de Pesas y Medidas (GGPM) con la salvedad que no hay laboratorios internacionales, ya que es una organización de carácter técnico administrativa.

1994

Se inauguran las instalaciones de CENAM por el secretario de la SECOFI, Dr. Jaime Serra Puche durante el gobierno del Lic. Carlos Salinas de Gortari.

1999

El CENAM, firma arreglo de Reconcomiendo Mutuo del Comité internacional de Pesas y Medidas (CIPM-MRA) junto con otras 50 instituciones Nacionales de Metrología, en el que se promueve la comparabilidad de los servicios de calibración y medición que ofrecen estos y proporciona una base técnica para desarrollar acuerdos en materia de comercio internacional.

2003

El CENAM se consolida entre el sector industrial como una herramienta para mejorar la competitividad; en sector comercio a través como mediciones confiables como garantía de transacciones equitativas; en el área de la protección del medio ambiente y la salud como factor para mejorar la calidad de vida; y el medio académico y de investigación como parte de la estructura científica y tecnológica de avance del conocimiento.

2004

El CENAM en su décimo aniversario de operaciones formales, ha sido un centro científico tecnológico que lleva a cabo actividades de investigación y que desarrolla las referencias de medición de alta exactitud aceptadas internacionalmente.



Se desarrollaron 61 patrones nacionales y el desarrollo de estos patrones a los niveles de exactitud que requirió la dinámica del país.

Preciso establecimiento de una infraestructura imprescindible de alto nivel técnico en instalaciones, condiciones ambientales de laboratorios y en personal, de tal forma que se pudo proporcionar resultados en las mediciones con reconocimiento internacional, lo que permitió establecer los mecanismos de evaluación de la conformidad con elevados niveles de competencia técnica y la aceptación de los productos mexicanos en el mercado internacional.

2009

Desde la creación del CENAM, se han establecido 72 patrones nacionales

68 por el Centro Nacional de Metrología (CENAM)

3 por el Instituto de Investigaciones Nucleares (NIN)

1 por el Instituto Nacional de Ecología (INE) nombrado anteriormente, conocido actualmente como el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

2014

A 20 años de existencia, el CENAM es reconocido a nivel mundial como una institución del más alto nivel científico en materia de metrología, calificado por los científicos más reconocidos en el medio que dieron testimonio de alto nivel científico en materia de metrología, calificado por los científicos más reconocidos en el medio que dieron testimonio de la alta calidad por su infraestructura, equipamiento y personal técnico. (Gutiérrez, Luis Manuel Ramírez Muñoz-Dr. Ignacio Hernández, el Marques, Qro. México, Centro Nacional de Metrología, julio 2014)



1.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA QUE SE PARTICIPO.

Tiene a su cargo los patrones Nacionales de Masa y Densidad es una Institución del Estado Mexicano líder en la ciencia de las mediciones, con personal competente, comprometido y honesto. Ofrece servicios y soluciones innovadoras basadas en el conocimiento científico y el desarrollo tecnológico e incide positivamente en el comercio, la competitividad industrial, el medio ambiente y el bienestar de la población, con equidad y transparencia.

Es responsable de establecer y mantener los patrones nacionales, ofrecer servicios metrológicos como calibración de instrumentos y patrones, certificación y desarrollo de materiales de referencia, cursos especializados en metrología, ensayos de aptitud y asesorías. Mantiene un estrecho contacto con otros laboratorios nacionales y con organismos internacionales relacionados con la metrología, con el fin de asegurar el reconocimiento internacional de los patrones nacionales de México y, consecuentemente, promover la aceptación de los productos y servicios de nuestro país.

1.4 MISION Y VISION

Institución del Estado Mexicano líder en la ciencia de las mediciones, con personal competente, comprometido y honesto. Ofrece servicios y soluciones innovadoras basadas en el conocimiento científico y el desarrollo tecnológico e incide positivamente en el comercio, la competitividad industrial, el medio ambiente y el bienestar de la población, con equidad y transparencia.



1.5 TIPO DE FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

RECURSO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO
Equipo	1	Densímetro oscilatorio (Anton Paar DMA5000)	\$1,000,000.00
Equipo	1	Medidor de presión (atmosférica)	\$2000,00.00
			TOTAL
			\$1,200,000.00
Materiales	3	Jeringa de teflón	\$18,000.00
Materiales	10	Vasos precipitados	\$1,000.00
Materiales	2 metros	Mangueras de tygon	\$1,000.00
Materiales	2 cajas	Papel óptico (sin pelusa)	\$750.00
Materiales	2 cajas	Guantes de nitrilo soft	\$750.00
Materiales	2	Embudo de acero inoxidable	\$1,000.00
			TOTAL
			\$22,500.00
Reactivo	6 frascos de (100 ml)	Agua (MRC) densidad	\$36,000.00
Reactivo	1 frascos de (1000 ml)	Polialfaolefina 710-6	\$60,000.00
Reactivo	1 frascos de (1000 ml)	Polialfaolefina 710-10	\$60,000.00
Reactivo	1 frascos de (1000 ml)	Polialfaolefina 710-11	\$60,000.00
Reactivo	1 frascos de (500 ml)	Pentadecano	\$5,000.00
Reactivo	1 frascos de (500 ml)	Etilenglicol	\$5000.00
Reactivo	3 frascos de (1000 ml)	Acetona	\$3,000.00
			TOTAL
			\$229,000.00
			TOTAL, GENERAL
			\$1,451,500.00



Contenido

INTRODUCCIÓN3

CAPÍTULO I5

1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS DE LA EMPTRESA.....6

1.2 BREVE HISTORIA6

1.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA QUE SE PARTICIPO.....10

1.4 MISION Y VISION10

1.5 TIPO DE FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO11

CAPITULO II17

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA18

2.3 OBJETIVO GENERAL.18

 2.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

2.4 ALCANCES.19

2.5 LIMITACIONES.....19

CAPITULO III20

3.1 QUE ES LA METROLOGÍA21

3.2 IMPORTANCIA DE LA METROLOGÍA21

3.3 MEDICIÓN22

 3.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MEDICIONES 23

 3.3.2 REGLAS PARA EFECTUAR MEDICIONES..... 25

 3.3.3 ERRORES DE MEDICIÓN..... 26

3.4 PATRÓN NACIONAL DE MASA.....28

 3.4.1 APLICACIÓN 29

3.5 PATRÓN NACIONAL DE DENSIDAD30

 3.5.1 APLICACIÓN 32

 3.5.2 TRAZABILIDAD 33

3.6 QUE SE MIDE Y COMO34

3.7 QUE SON LOS FLUIDOS36

3.8 DENSÍMETRO TIPO OSCILATORIO.37

 3.8.1 PRINCIPIO DE MEDICIÓN..... 38

 3.8.2 MEDICIÓN DEL VOLUMEN..... 39

 3.8.3 MEDICIÓN DE MASA..... 39

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



3.9 CLASE DE EXACTITUD DE LOS DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO	40
3.9.1 ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS EN LOS DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO DE LABORATORIO	41
3.9.2 EXACTITUD DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO DE PROCESO PARA LÍQUIDOS HOMOGÉNEOS.....	42
3.10 PRINCIPIO DE OPERACIÓN	42
3.10.1 DENSÍMETROS TIPO OSCILATORIO: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO.....	42
3.10.1.1 INSTRUMENTOS DE LABORATORIO	42
3.11 ASPECTOS GENERALES DE AJUSTE Y CALIBRACION DEL DENSIMETRO TIPO OSCILATORIO ..	44
3.11.1 AJUSTE	44
3.11.2 CALIBRACION	45
3.11.2.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN	46
3.12 CÁLCULO DE ERROR DE INDICACIÓN.	48
3.12.1 DENSIDAD	48
3.12.2 PESO ESPECÍFICO	51
3.12.3 VOLUMEN	51
3.12.4 VISCOSIDAD	52
3.12.4.1 VISCOSIDAD DINÁMICA	52
3.12.4.2 VISCOSIDAD CINEMÁTICA	53
3.12.4.3 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD EN SU TEMPERATURA Y PRESIÓN.	54
3.13 MODELO DE MEDICIÓN	55
3.13.1 DENSIDAD DE REFERENCIA.....	56
3.13.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DENSIDAD DEBIDO A UN CAMBIO DE TEMPERATURA	56
3.13.3 CÁLCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DENSIDAD DEBIDO A UN CAMBIO EN EL VALOR DE LA PRESIÓN.	57
3.13.4 EL MEJOR ESTIMADO DE LA INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO	57
3.13.5 PROMEDIO DE LAS INDICACIONES DEL INSTRUMENTO.	58
3.14 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGUA	60
3.15 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE.....	61
CAPITULO IV.....	63
4.1 SELECCIÓN DE LIQUIDOS A MEDIR, EN EL DENSIMETRO TIPO OSCILATORIO. ANTON PAR DMA 5000	65

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



4.2 ESTUDIO DE LA HOJA DE SEGURIDAD DE CADA UNO DE LOS LÍQUIDOS SELECCIONADOS.	66
4.3 CAPACITACIÓN EN LA MEDICIÓN DE DENSIDAD DE LÍQUIDOS UTILIZANDO UN DENSÍMETRO DIGITAL.	67
4.3.1 CORRECCIÓN LÍDER DE LA VISCOSIDAD.....	69
4.3.2 EXCELENTE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.....	69
4.3.3 GESTIÓN DE LA TEMPERATURA THERMOBALANCE™	69
4.3.4. EL CONOCIMIENTO MÁS DETALLADO DE SUS MUESTRAS.....	69
4.3.5 COMPONENTES FUNCIONALES DEL DENSÍMETRO OSCILATORIO.....	70
4.3.6 PIEZAS DEL DENSÍMETRO ANTON PAAR DMA5000	71
4.3.7 ELEMENTOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA PRINCIPAL.....	73
4.3.8 INDICACIONES DE SEGURIDAD.....	77
4.3.8.1 PRODUCTOS QUÍMICOS	77
4.3.8.2 PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DE LA TEMPERATURA, NO COLOQUE DMA 5000.....	77
4.3.8.3 VENTILACIÓN Y HUMEDAD DEL EQUIPO	77
4.3.8.4 ADAPTADORES	78
4.3.8.5 ENCENDIDO Y APAGADO DEL INSTRUMENTO	79
4.3.8.6 PANTALLA TÁCTIL	80
4.3.9 TECLADO EN LA PANTALLA.....	80
4.3.10 MEDICION DE CONTROL, AJUSTE Y CALIBRACION	81
3.3.10.1COMPROBACIÓN	81
4.3.10.2 AJUSTE DEL DENSIMETRO	81
4.3.10.3 CALIBRACIÓN DEL DENSÍMETRO.....	82
4.3.11 AJUSTE	82
4.3.11.1 AJUSTE CON AIRE A 20°C.....	83
4.3.11.2 AJUSTE CON AGUA A 20°C	85
4.3. 11.3 FINALIZACION DEL AJUSTE	86
4.3. 12 CALIBRACION	86
4.3.12.1 RECOMENDACIONES	86
4.3.12.2 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA CALIBRACIÓN DE DENSÍMETROS TIPO OSCILATORIO	87
4.12.3 CONTENIDO DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.....	88
4.3.12.4 INFORMACIÓN ACERCA DEL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN	89
ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.	



4.3.12.5 MATERIALES DE REFERENCIA	89
4.4 MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS LÍQUIDOS SELECCIONADOS.....	92
4.4.1 ACCESORIOS PARA REALIZAR LAS MEDICIONES EN EL DENSÍMETRO OSCILATORIO	92
4.4.2 MEDICIONES DE DENSIDAD DE LOS LIQUIDOS	95
4.5 METODO DE MEDICIÓN DE LOS LÍQUIDOS SELECCIONADAS	99
4.5.1 REPETIBILIDAD EN LA SERIE DE DIFERENTES LÍQUIDOS SELECCIONADAS	100
4.5.2 MUESTRAS DE LLENADO	101
4.5.2 CANTIDAD DE LA MUESTRA	102
4.5.3 LLENADO DENTRO DE LA CELDA	103
4.5.4 LIMPIEZA	104
4.5.4.1 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	105
V CAPITULO	106
ALFA (α) DE TEMPERATURA ($^{\circ}C - 1$)	107
TABLA 1. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}C - 1$ DE LA POLIALFAOLEFINA	108
710-6	108
TABLA 2. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}C - 1$ DE LA POLIALFAOLEFINA	109
710-10	109
TABLA 3. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}C - 1$ DE LA POLIALFAOLEFINA	110
710-11	110
TABLA 4. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}C - 1$ DEL PENTADECANO	111
TABLA 5. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}C - 1$ DEL ETILENGLICOL.....	112
ALFA (α) DE VISCOSIDAD	113
TABLA 6. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE POLIALFAOLEFINA 710-6.....	113
TABLA 7. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE POLIALFAOLEFINA 710-10.....	113
TABLA 8. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE POLIALFAOLEFINA 710-11.....	114
TABLA 9. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE PENTADECANO	114
TABLA 10. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE ETILENGLICOL	114
ERROR DE DENSIDAD POR VISCOSIDAD DEL INSTRUMENTO (EXPERIMENTAL Y TEÓRICO).....	115
TABLA 11. MEDICION DE LOS DIFERENTES LIQUIDOS [POLIALFAOLEFINA 710-(6-10-11), PENTADECANO, ETILENGLICOL, AGUA]	116
TEMPERATURA 15 $^{\circ}C$, 18 $^{\circ}C$, 20 $^{\circ}C$, 22 $^{\circ}C$, 25 $^{\circ}C$	116
GRAFICA 1. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD	117

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



GRAFICA 2. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD	117
GRAFICA 3. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD	118
POLIALFAOLEFINA 710-6	118
GRAFICA 4. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD	118
POLIALFAOLEFINA 710-10	118
GRAFICA 5. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD	119
POLIALFAOLEFINA 710-11	119
GRAFICA 6. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD PENTADECANO.....	119
GRAFICA 7. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD ETILENGLICOL.	120
GRAFICA 8. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD ETILENGLICOL.	120
GRAFICA 9. ERROR DE INDICACIÓN DE	121
DENSIDAD POR VISCOSIDAD DE TODOS LOS LIQUIDOS DE MEDICION.....	121
DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS	122
(CORRECCION DE VISCOSIDAD EXPERIMENTAL /TEORICA)	122
CONCLUSION.....	125
BIBLIOGRAFÍA	127



CAPITULO II

MARCO DE REFERENCIA

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los densímetros de tipo oscilatorio, tiene un efecto de amortiguamiento que se encuentra en función de la viscosidad del fluido, y al mismo tiempo el fluido tiene por efecto en mover ligeramente los nodos de oscilación, en donde realiza correcciones automáticas de densidad por viscosidad, el cual no nos indica como realiza esa corrección, para ello se necesita evaluar y realizar un estudio con diferentes líquidos (MRC) .En variación a su densidad y temperatura, para analizar su comportamiento y conocer el modelo de error de corrección por viscosidad que nos indique el equipo.

2.3 OBJETIVO GENERAL.

Estudio de la influencia de la viscosidad de los líquidos y su corrección en la calibración y medición de densímetros digitales tipo oscilatorio y medición de densidad con los mismos instrumentos.

2.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar una serie de mediciones, de diferentes líquidos seleccionados que se encuentren certificados en densidad, a la variación de diferentes puntos de temperatura.

Realizar ajuste y calibración del equipo con (MRC).

Resolver ecuaciones y analizarlas, para conocer el alfa de temperatura y viscosidad de los líquidos.

Encontrar el error de indicación de con/ sin corrección de densidad por viscosidad del instrumento y el error teórico realizando un análisis de comparación.



2.4 ALCANCES.

Este proyecto está diseñado para encontrar y conocer el comportamiento de los líquidos con altas y bajas densidades en los densímetros tipos oscilatorios y conocer el modelo de error de corrección de densidad por viscosidad que realiza el equipo por cada sustancia, que influye en el comportamiento de efecto de amortiguamiento de vibraciones.

2.5 LIMITACIONES.

En el transcurso del proyecto se presentan algunas limitaciones: El mayor reto es obtener resultados de medición correctos de los diferentes líquidos. Por estudios se a encontrando que al uso de densímetros oscilatorios presenta una serie de errores al inyectar el líquido en la celda, provocando burbujas y esta podría afectar a los valores de densidad.

El otro reto es el control de seguridad en los densímetros, asegurando la limpieza en los materiales del laboratorio, en la celda de medición eliminando los residuos de (MRC), o de cualquier otra sustancia para no contaminar los líquidos y por lo consiguiente también proteger los líquidos o MRC, ante cualquier contaminación, y evitar que sufran un cambio en sus propiedades. Y por último realizar correctamente la calibración y ajuste del equipo.



CAPITULO III

MARCO TEORICO

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



3.1 QUE ES LA METROLOGÍA

Lo que no se mide, no se conoce. Lo que no se conoce, no se puede mejorar.

Metrología es la ciencia de las mediciones y que medir es comparar con algo (unidad) que se toma como base de comparación.

la metrología de acuerdo con la definición formal y concreta del vocabulario internacional de metrología (vim) se define como “ciencia de la medición” y se nos dice que “incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones; cualquiera que sea su incertidumbre y en cualquier campo de la ciencia y tecnología que ocurra”, de esta definición conviene resaltar que la metrología contempla aspectos tanto teóricos como prácticos, lo cual implica reconocer ciertas categorías de metrología en función del énfasis o profundidad con que se lleven a cabo estos aspectos teóricos y prácticos, estas categorías son reconocidas como metrología científica, industrial y legal.

(Marbán, Rocío M.; Pellecer , Julio, 202)

3.2 IMPORTANCIA DE LA METROLOGÍA

La importancia de la metrología radica en que tanto empresarios como consumidores necesitan saber con suficiente exactitud cuál es el contenido exacto de un determinado producto. En este sentido, las empresas deben contar con instrumentos de medición adecuados (balanzas, termómetros, reglas, pesas, etc.), para obtener medidas confiables y garantizar buenos resultados en el proceso de fabricación de un producto. (importancia de la Metrologia , 2005)

El progreso en la ciencia siempre ha estado íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición. Las mediciones son un medio para describir los fenómenos naturales en forma cuantitativa. Como dijo Mendeleev, "la Ciencia comienza donde empieza la medición, no siendo posible la ciencia exacta en ausencia de mediciones". (importancia de la Metrologia , 2005)



La Metrología comprende todos los aspectos, tanto teóricos como prácticos, que se refieren a las mediciones, cual quiera que sean sus incertidumbres, y en cual quiera de los campos de la ciencia y de la tecnología en que tenga lugar. Cubre tres actividades principales:

- La definición de las unidades de medida internacionalmente aceptadas.
- La realización de las unidades de medida por métodos científicos.
- El establecimiento de las cadenas de trazabilidad, determinando y documentando el valor y exactitud de una medición y esparciendo dicho conocimiento. (importancia de la Metrología , 2005)

Obtener mediciones exactas y confiables es un requisito fundamental para toda empresa que desee estar entre las más competitivas.

- Base de los conocimientos científicos, del desarrollo de la tecnología, la automatización de la industria y la normalización.
- Necesaria en procesos de producción, investigación científica, en el transporte y la comunicación.

(importancia de la Metrología , 2005)

3.3 MEDICIÓN

La medición sirve para la determinación de tamaño, cantidad, peso o extensión de algo, que describe a un objeto mediante magnitudes numéricas. Esta proporciona una manera fácil, casi única, de controlar la forma en que se dimensionan las partes. Tiene como propósito reconocer el tamaño exacto de las partes y facilitar la inspección ágil, sujeta a requerimientos y especificaciones determinados, de antemano, a la fabricación. (gravito, julio, 2007)



3.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MEDICIONES

Medición directa

La medición directa es la que se realiza con la ayuda de aparatos graduados como los son: la regla, el metro, el calibrador Vernier, entre otros. (gravito, julio, 2007)

Medición indirecta

Cuando se dificulta medir directamente una magnitud, ya sea porque no se cuenta con el instrumento adecuado o la magnitud es de difícil acceso, es posible efectuar una estimación de dicha magnitud a través de un cálculo matemático o bien in instrumento de medición intermedio. (gravito, julio, 2007)

Explicación estadística

Para explicar la parte estadística en la metrología, empecemos con una pequeña definición sobre la desviación estándar. La desviación estándar (σ) es el promedio de lejanía de los puntajes (datos) respecto del promedio (μ). (gravito, julio, 2007)

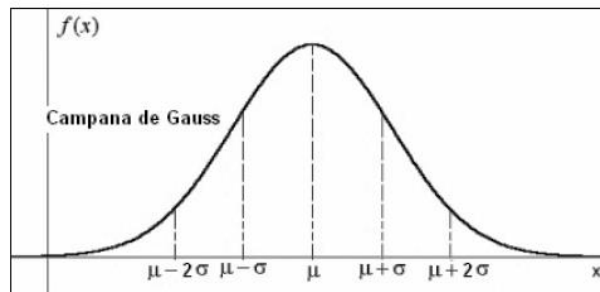


Fig.1 campana de gauss mostrando una y dos desviaciones estándar

A) La diferencia entre exactitud y precisión se muestra a continuación, En la figura 2, el error aleatorio en la medición es grande (campana de gauss muy abierta), e indica una precisión baja; pero el valor de la medida de medición (el promedio) coincide con el valor verdadero, o sea una exactitud alta.

(gravito, julio, 2007)



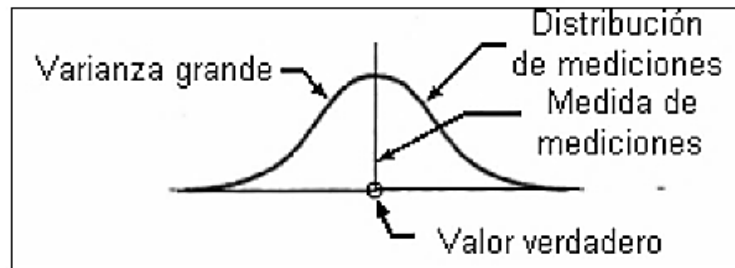


Fig. 2 exactitud alta, pero precisión baja

B) En la Figura 3, el error de medición es pequeño (buena precisión), pero el valor medido difiere sustancialmente del valor verdadero (baja exactitud).

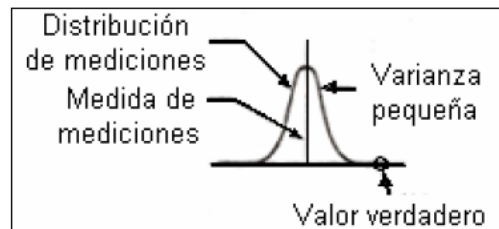


Fig. 3 exactitud baja, pero precisión alta.

C) En la Figura 4, son buenos tanto la exactitud como la precisión.

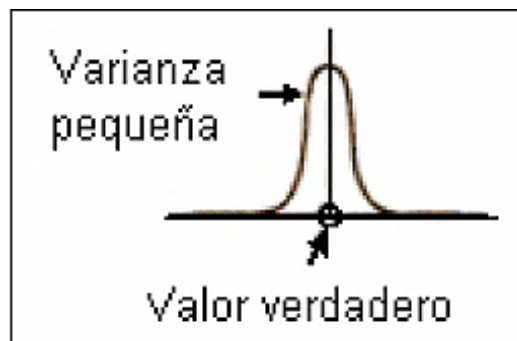


Fig. 4 exactitud y precisión alta

Todos los procesos de medición tienen variaciones aleatorias por lo que un conjunto de mediciones se puede representar como una función de probabilidad. Una manera de disminuir las implicaciones de estas variaciones sobre un resultado esperado es expresando las mediciones con un rango de tolerancias aceptable;



también existe otra manera de reducir las variaciones aleatorias especificando el nivel de incertidumbre asociado a las mediciones.

(gravito, julio, 2007)

3.3.2 REGLAS PARA EFECTUAR MEDICIONES

Cada vez que haga una medición, es importante tener en cuenta las siguientes reglas para obtener resultados óptimos:

- Al hacer mediciones, se debe emplear el instrumento que corresponde a la precisión exigida.
- Mirar siempre verticalmente sobre el lugar de lectura (error de paralaje).
- Limpiar las superficies del material y el instrumento de medición antes de las mediciones.
- Desbarbar la pieza de trabajo antes de la medición.
- En mediciones de precisión, prestar atención a la temperatura de referencia tanto en el objeto como en el aparato de medición.
- En algunos instrumentos de medición, prestar atención para que la presión de medición sea exacta. No se debe emplear jamás la fuerza.
- No hacer mediciones en piezas de trabajo en movimiento o en máquinas en marcha.
- Verificar instrumentos de medición regulables repetidas veces respecto a su posición a cero.
- Verificar en intervalos periódico.



3.3.3 ERRORES DE MEDICIÓN

Al hacer mediciones, las lecturas que se obtienen nunca son exactamente iguales, aun cuando las efectúe la misma persona, sobre la misma pieza, con el mismo instrumento, el mismo método y en el mismo ambiente (repetitividad). Los errores surgen debido a la imperfección de los sentidos, de los medios, de la observación, de las teorías que se aplican, de los aparatos de medición, de las condiciones ambientales y de otras causas. La variación puede ser relativamente grande o pequeña, pero siempre existirá.

1.- Error absoluto: Es la diferencia entre el valor leído y el valor convencionalmente Verdadero.

2.- Error relativo: Es el error absoluto entre el valor convencionalmente verdadero.

3.- Errores aleatorios: Son errores inherentes a cualquier proceso de medición y provoca que las mediciones sean distintas.

4.- Errores sistemáticos: Son los errores que se presentan en los sistemas de medición y provoca que los resultados sean erróneos.

5.- Errores crasos: Son errores tan graves que no queda otra alternativa que abandonar la medición.

6.- Errores por el instrumento o equipo de medición: Pueden deberse a defectos de fabricación (deformaciones, imperfecciones mecánicas, etc.). Los errores por el instrumento pueden determinarse mediante calibración.

7.- Error del operador o por el método de medición.

Algunos tipos de errores son debido al método o procedimiento con que se efectúa la medición. El principal es la falta de un método definido y documentado. Los siguientes errores debe conocerlos y controlarlos el operador:

- Error por el uso de instrumentos descalibrados.
- Error por fuerza ejercida al realizar mediciones.



- Error por instrumento inadecuado, se debe considerar lo siguiente:

1. Cantidad de piezas a medir
2. Tipo de medición (externa e interna, etc.)
3. Tamaño de la pieza

- Error por puntos de apoyo.
- Error por método de sujeción
- Error por distorsión: (Ley de abbel: la máxima exactitud de medición es obtenida si el eje de medición es el mismo del eje del instrumento).
- Error de paralaje: ocurre debido a la posición incorrecta del operador con respecto a la escala graduada del instrumento de medición, la cual está en un plano diferente.

8.- Errores por condiciones ambientales:

- Humedad: Debido a los óxidos que se pueden formar por humedad excesiva en las caras de medición del instrumento o en otras partes, se establece como norma una humedad relativa de 55% +- 10 %.
- Polvo: Los errores debido al polvo o mugre, se observan con mayor frecuencia de lo esperado, algunas veces alcanza el orden de 3 micrómetros. Se recomienda utilizar filtros de aire que limiten la cantidad y tamaño de las partículas en el ambiente.
- Temperatura: Todos los materiales que componen tanto las piezas por medir como los instrumentos de medición, están sujetos a variaciones longitudinales debido a cambios de temperatura. Para eliminar estos errores se estableció internacionalmente, desde 1932, como norma una temperatura de 20 °C para efectuar mediciones. (importancia de la Metrología , 2005)



3.4 PATRÓN NACIONAL DE MASA

El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo. (1ª. y 3ª. CGPM, 1889 y 1901)

El prototipo internacional del kilogramo (K): Es un artefacto con forma cilíndrica (altura y diámetro de aproximadamente 39 mm). -Está fabricado con una aleación de 90 % platino y 10 % iridio. El Patrón Nacional de Masa en nuestro país es el kilogramo prototipo de Pt-Ir identificado con el número 21.

Fue asignado a México en 1891 - Es uno de los cuarenta primeros kilogramos prototipos nacionales. - Tiene las mismas características físicas que el kilogramo internacional. (Santiago, M. en C. Luis Omar Becerra, 2016)



Fig. 5 Patrón Nacional de Masa de México K21



Fig. 6 Trazabilidad Patrón Nacional K21

3.4.1 APLICACIÓN

De la masa depende la formación de magnitudes derivadas como la fuerza, la presión, la energía, entre otras y en consecuencia, el nivel de exactitud con la que se mide afecta los niveles de exactitud de todas estas magnitudes. La unidad de masa se aplica también en la cuantificación de la producción y para los intercambios comerciales que se realizan en los mercados nacionales e internacionales. Su aplicación es determinante en las mediciones químicas para la preparación de materiales de referencia y la realización de métodos analíticos usados en la industria y en los campos de control ambiental y de la salud humana. (Santiago, M. en C. Luis Omar Becerra, 2016)



3.5 PATRÓN NACIONAL DE DENSIDAD

Es actualmente una esfera sólida cuya masa y volumen fueron caracterizados por medio de patrones primarios en densidad que a su vez son evaluados por medio de magnitudes fundamentales como son la masa y la longitud. En CENAM contamos con dos esferas de **Zerodur** de aproximadamente 1 kg en masa y 91 mm de diámetro, con una incertidumbre en redondez de 120 nm. La calibración inicial fue realizada en el PTB de Alemania por los patrones de densidad de ese país (S1 y S2). La incertidumbre relativa en densidad de estos patrones es de aproximadamente 1×10^{-6} .

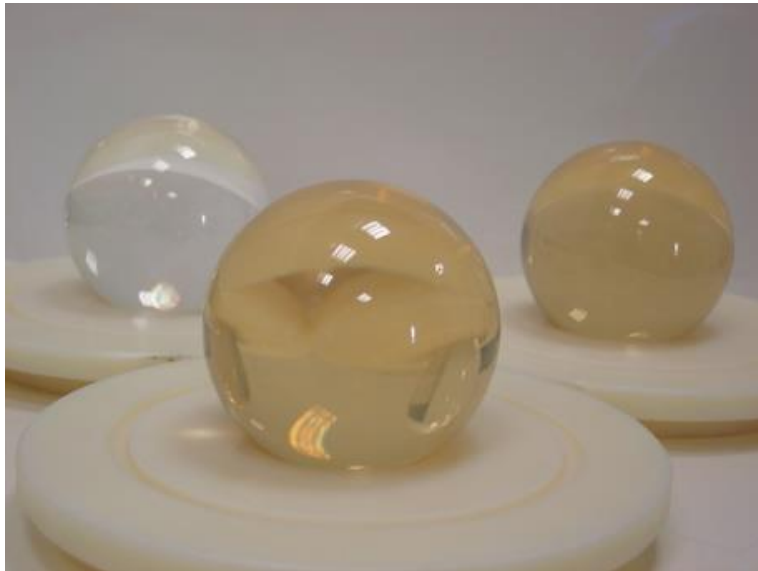


Fig. 7. En CENAM se cuenta con dos patrones sólidos de Densidad cuya masa nominal de 1 kg y una densidad de $2,3 \text{ g/cm}^3$, identificados como Z-01 y Z-02

El sistema de medición está compuesto por una balanza con un alternador de carga para depositar las pesas patrón de acero inoxidable por arriba de la balanza y un sistema de pesada hidrostática vertical de 3 posiciones para colocar las dos esferas patrón y un sólido de volumen desconocido por debajo de la balanza. Ambos sistemas son automáticos y se muestran en las figuras.



Fig. 8 Alternador de carga para arriba de la balanza

El método de pesada hidrostática (basado en el principio de Arquímedes) es el utilizado para realizar las mediciones de densidad de mayor exactitud, que consiste en medir alternadamente el empuje que sufre un sólido en aire y en un líquido mediante el uso de balanzas de alta exactitud. Con la relación entre los dos empujes es posible determinar la densidad del líquido (si la densidad del sólido es conocida) o la densidad del sólido (si la densidad del líquido es conocida) con una incertidumbre relativa de hasta 2×10^{-6} . El sistema permite determinar la densidad de un líquido y el volumen de un sólido. Con el Sistema de Pesada hidrostática se pueden realizar mediciones de densidad trazables al Patrón Nacional de Densidad en líquidos desde 650 kg/m^3 hasta $2\,000 \text{ kg/m}^3$ y en sólidos desde $2\,200 \text{ kg/m}^3$ hasta $21\,000 \text{ kg/m}^3$.



El sistema de pesada hidrostática está diseñado para realizar mediciones de cualquier líquido (inocuo para las esferas) y en sólidos cuya masa sumergida no rebase los 900 g debido al alcance de medición de la balanza comparadora de masa. (Santiago, M. en C. Luis Omar Becerra, 2016)



Fig. 9 Sistema de Pesada Hidrostática

3.5.1 APLICACIÓN

La densidad es una magnitud física importante en la industria, ciencia, ingeniería, y tecnología. Determinaciones de densidad de líquidos y sólidos son realizadas con propósitos tecnológicos, comerciales, fiscales y científicos. Para garantizar la exactitud y comparabilidad de las mediciones de densidad deben enlazarse a los patrones nacionales de esta misma magnitud, y éstos a su vez a los patrones de masa y longitud respectivamente. El Patrón Nacional tiene como objetivo ofrecer trazabilidad a las mediciones de densidad de sólidos y líquidos que se realizan en el país. (Santiago, M. en C. Luis Omar Becerra, 2016)



La densidad del Patrón Nacional de Densidad está caracterizada con una incertidumbre relativa de aprox. un décimo de la incertidumbre relativa de la densidad del agua (referencia anterior de densidad), lo cual representa la posibilidad de obtener densidades de sólidos y líquidos con incertidumbres relativas de igual nivel que el agua pura, esta situación ofrece la ventaja de calibrar instrumentos para la medición de densidad con líquidos de diferentes valores de densidad que actualmente se calibran únicamente con agua.

3.5.2 TRAZABILIDAD

El par de esferas de zerodur Z-01 y Z-02 son trazables a patrones primarios de densidad pertenecientes al Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania y éstos a su vez a los patrones nacionales de masa y de longitud alemanes. (Santiago, M. en C. Luis Omar Becerra, 2016)



**Fig. 10 El Sistema de pesada hidrostática
Del Patrón Nacional de Densidad**



3.6 QUE SE MIDE Y COMO

En el SI se establece además una serie de reglas y convenciones que tienen que ver con el uso de unidades mixtas, la forma de seleccionar e identificar los prefijos, el uso de múltiplos y submúltiplos, la ortografía, el uso de mayúsculas y minúsculas, de singular y plural, el agrupamiento de dígitos, el redondeo de valores, etc. Si ahora vemos la estructura jerárquica de los patrones, notamos que podemos describirla como una pirámide en cuyo vértice tenemos el conjunto de patrones que corresponden a las unidades de base del SI de las que ya hemos hablado. La segunda posición corresponde al conjunto de patrones nacionales.

En el siguiente nivel se localizan los patrones de referencia, conjunto que sirve para preparar los patrones de trabajo a nivel operativo.

El conjunto de patrones del nivel operativo (patrones de trabajo) constituye la base de la pirámide.

La cadena de instituciones encargadas de operar el SI está encabezada por el BIPM, le siguen los Laboratorios Nacionales de Metrología, a continuación, están los Laboratorios de Calibración y por último los Laboratorios de Trabajo.

Los laboratorios nacionales de metrología, custodian los patrones nacionales y tienen la responsabilidad de diseminar las unidades SI a los laboratorios acreditados de calibración de sus respectivos países.

Los laboratorios de calibración aseguran que los equipos de medición, así como los patrones de referencia y de trabajo estén acordes con los patrones nacionales. Los laboratorios de ensayos, en el nivel de trabajo, son los encargados de evaluar la conformidad de productos que van a ser certificados. Para sus trabajos, utilizan patrones de referencia, que son calibrados contra los patrones nacionales del estrato anterior.



Finalmente, encontramos las organizaciones o instituciones que utilizan los patrones de trabajo, empleados por la industria y otros sectores, los cuales suelen ser calibrados contra patrones de referencia y éstos a su vez contra patrones nacionales. Un concepto importante en la metrología es el de la llamada **trazabilidad**.

Por ello se entiende la propiedad de una medición o del valor de un patrón, de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas. La posibilidad de determinar la trazabilidad de cualquier medición descansa en el concepto y las acciones de calibración y en la estructura jerárquica de los patrones de la que ya hablamos.

Para los metrologos, se entiende por calibración: un conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición, valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los valores correspondientes a las magnitudes establecidas por los patrones. Algunos, indebidamente, le llaman calibración a un proceso de comprobación o verificación que permite asegurar que entre los valores indicados por un aparato o un sistema de medición y los valores conocidos correspondientes a una magnitud medida, los desvíos sean inferiores a los errores máximos tolerados. Por otra parte, los metrologos suelen tomar en consideración las principales causas de error en las mediciones, causas que pueden ser o no conocidas y controlables y que pueden deberse a factores del medio ambiente en el que se llevan a cabo las mediciones, a defectos de construcción o de calibración de los aparatos empleados, a fallas del operador o a la propia interpretación de los datos, o a factores aleatorios.

(Marbán, Rocío M.; Pellecer, Julio, 202)



3.7 QUE SON LOS FLUIDOS

La característica fundamental de los fluidos es la denominada *fluidéz*. Un fluido cambia de forma de manera continua cuando está sometido a un esfuerzo cortante, por muy pequeño que sea éste, es decir, un fluido no es capaz de soportar un esfuerzo cortante sin moverse durante ningún intervalo de tiempo. Unos líquidos se moverán más lentamente que otros, pero ante un esfuerzo cortante se moverán siempre. La medida de la facilidad con que se mueve vendrá dada por la *viscosidad* que se trata más adelante, relacionada con la acción de fuerzas de rozamiento. Por el contrario, en un sólido se produce un cambio fijo y para cada valor de la fuerza cortante aplicada.

Dentro de los fluidos, la principal diferencia entre líquidos y gases estriba en las distintas compresibilidades de los mismos.

Gases. Los gases presentan una gran compresibilidad, que influye sobre las características del flujo, ya que tanto el volumen como la densidad varían con facilidad. En el caso de los gases el movimiento térmico vence a las fuerzas atractivas y, por tanto, tienden a ocupar todo el volumen del recipiente que los contiene.

Líquidos. En el caso de los líquidos, por el contrario, la compresibilidad es muy débil. Esto es debido a que las fuerzas atractivas entre las moléculas del líquido vencen al movimiento térmico de las mismas, colapsando las moléculas y formando el líquido. La noción de compresibilidad dada es la correspondiente a la estática de fluidos. En dinámica de fluidos, hay casos en los que la densidad no varía a lo largo del flujo, incluso en un fluido compresible, por lo que a ese flujo le podemos aplicar las leyes de los fluidos incompresibles. Tiene en este caso más sentido hablar de flujo compresible o incompresible. Los fluidos no conservan la forma. Al situarlos en un recipiente toman la forma del mismo (si lo llenan) o de parte del mismo.

(Agustín Martín Domingo, 1997-2011)



3.8 DENSÍMETRO TIPO OSCILATORIO.

- El uso de medidores de densidad tipo oscilatorio o a frecuencia en la industria es cada día más extendido.
- Para verificar y controlar la calidad en el proceso
- Para determinar algunos parámetros y propiedades del producto
- Para determinar las cantidades de producto que serán utilizadas en combinación con mediciones de volumen

(Metrología de Densidad)

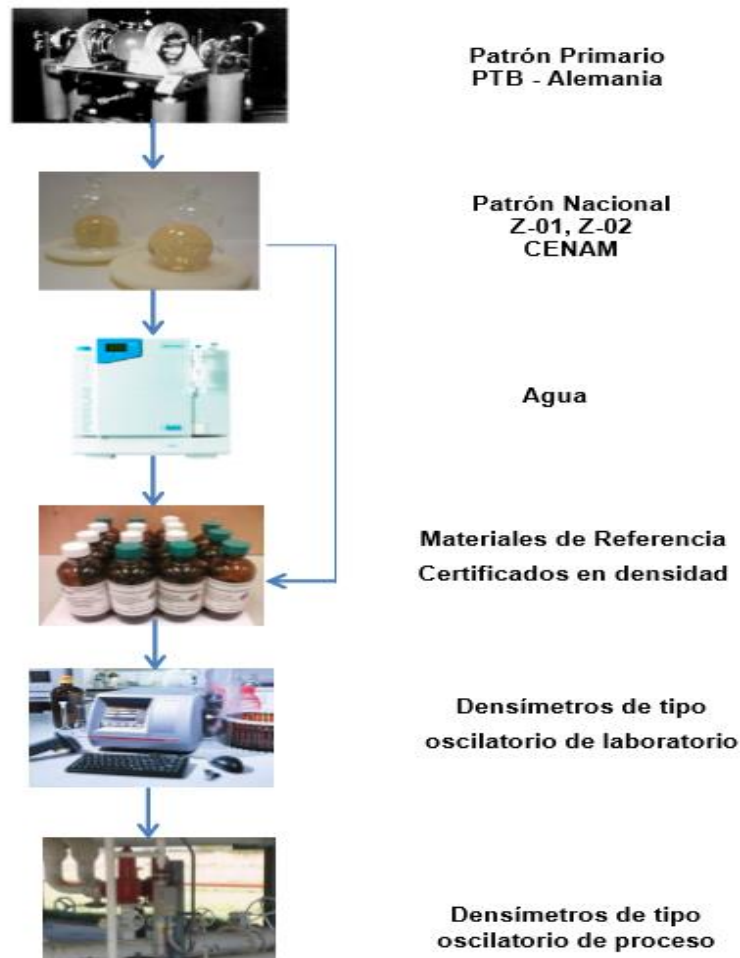


Fig. 11 Esquema de trazabilidad para densímetros de tipo oscilatorio



3.8.1 PRINCIPIO DE MEDICIÓN

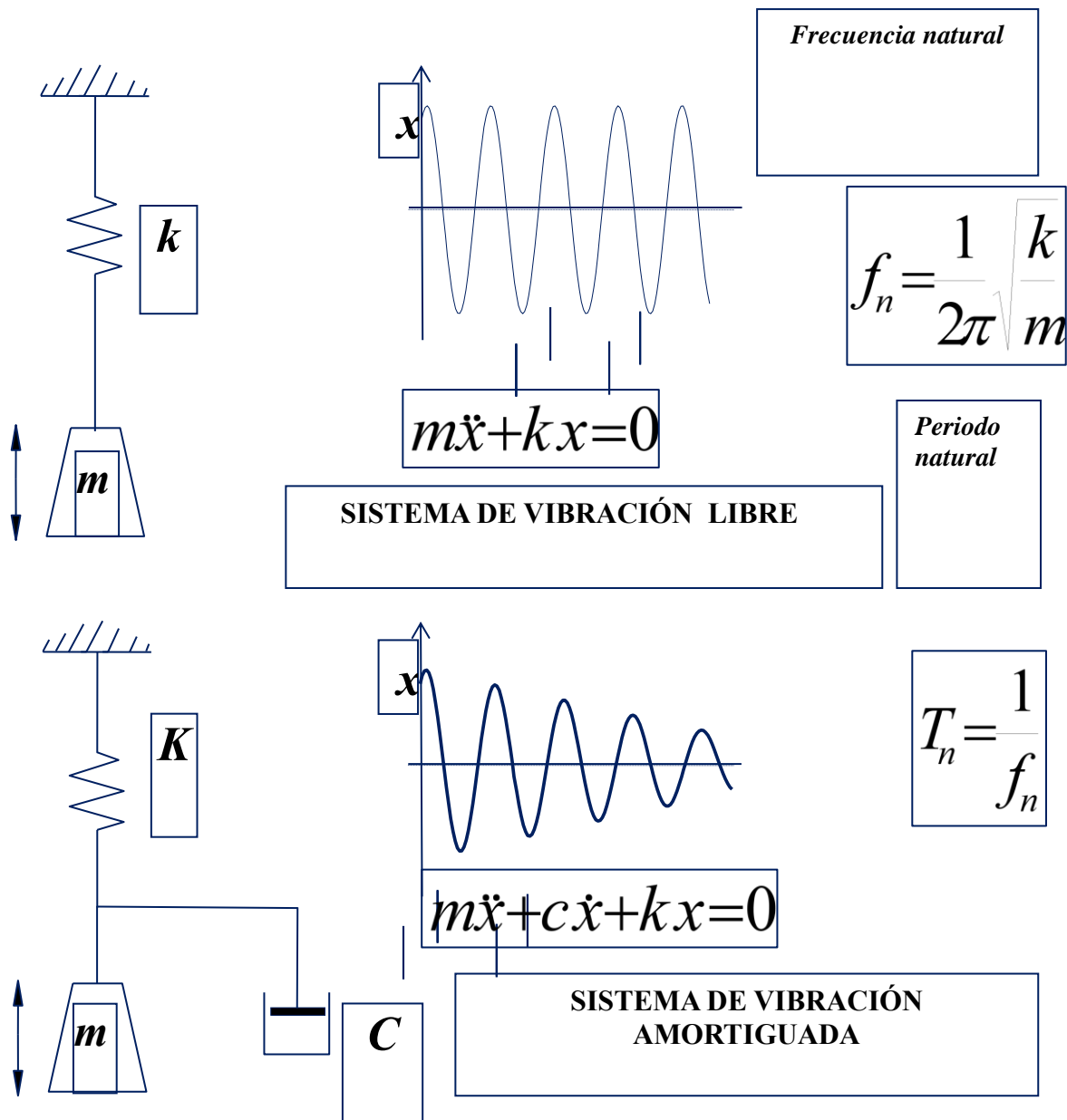


Fig. 12 Sistema de medición

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



3.8.2 MEDICIÓN DEL VOLUMEN

El volumen del densímetro a frecuencia está definido por el tamaño del tubo y la posición de los nodos vibraciones. Estos están localizados cerca del punto de al cual se encuentra un pequeño cambio en la sección transversal del área del tubo, donde el tubo está sujeto. En teoría, el nodo es el punto en el oscilador al cual no existe desplazamiento. (Metrología de Densidad)

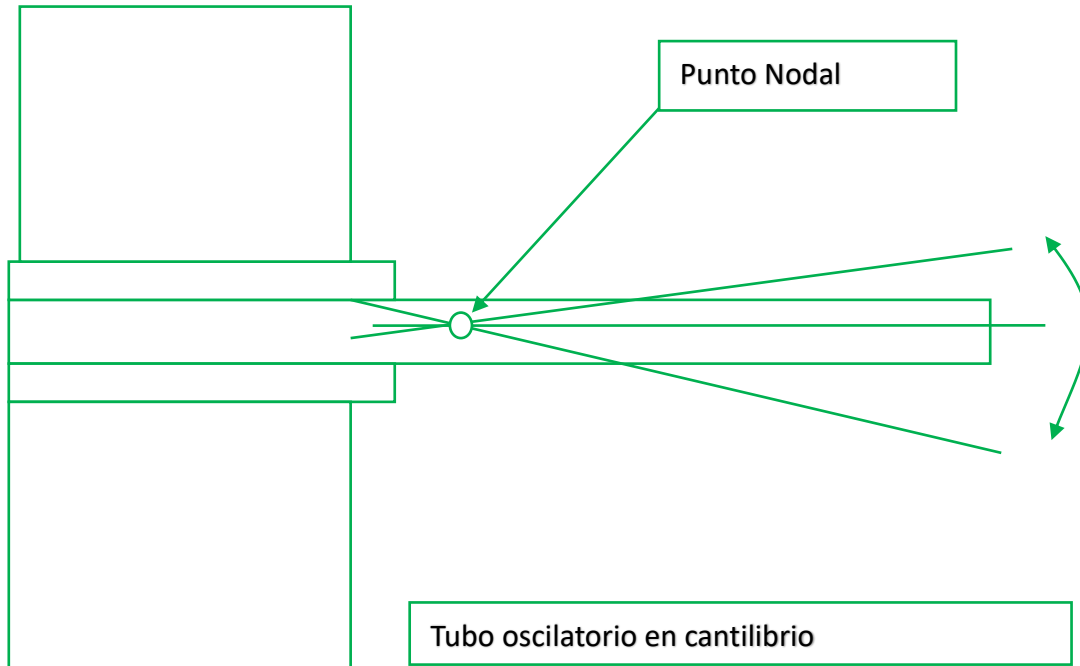


Fig. 13 mediciones de volumen

3.8.3 MEDICIÓN DE MASA

La masa en si no puede medirse directamente, de cualquier manera, se puede determinar la magnitud de la masa del cuerpo por una medición de la fuerza necesario para producirle una aceleración. Esta fuerza puede provenir a primera instancia de un resorte que nos ofrezca un desplazamiento que podamos medir. (Metrología de Densidad)



3.9 CLASE DE EXACTITUD DE LOS DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO

De acuerdo a la norma internacional ISO 15212 (Oscillation-type density meters) [10, 11], existen dos tipos de densímetros de tipo oscilatorio que pueden ser identificados con claridad:

Instrumentos de laboratorio.

Instrumentos de proceso para líquidos homogéneos.

Dentro de la categoría de instrumentos de proceso para materiales homogéneos, se encuentran los siguientes:

Densímetros de proceso en laboratorio

Densímetros de proceso en campo

Debido a que los usuarios de los densímetros de tipo oscilatorio, frecuentemente los utilizan con base a la clase de exactitud y a sus errores máximos permitidos (declarados por los fabricantes o establecidos en normas), es conveniente que los instrumentos estén calibrados y que se verifique que sus errores de indicación sean menores a los máximos permitidos, de acuerdo a la resolución y al factor del instrumento (ver tabla Fig.3). La evaluación de la conformidad en instrumentos de medición consiste en la confirmación mediante la calibración de la siguiente expresión. (Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, pág. 10)

$$|E \pm (E)| \leq emp$$

En donde el error de indicación del instrumento E en conjunto con su incertidumbre asociada $U(E)$ deben tener un valor menor o igual al error máximo permitido emp correspondiente a su factor y resolución, como se muestra en la Fig.3.



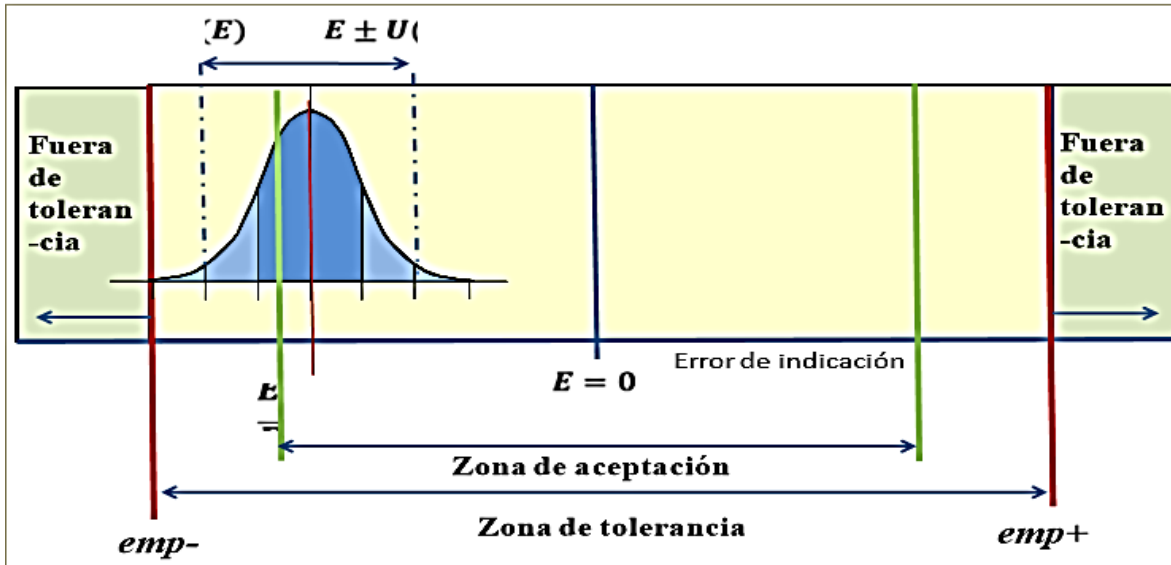


Fig. 14 criterios para evaluar la calibración del instrumento

3.9.1 ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS EN LOS DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO DE LABORATORIO

De acuerdo a la norma ISO 15212-1 [10], los errores máximos permitidos de los densímetros de tipo oscilatorio de laboratorio se encuentran listados en la Tabla.

Error máximo permitido (emp) km^{-3}	Resolución km^{-3}	Factor
1.0	0.1	1/10
0.5	0.1	1/5
0.20	0.01	1/20
0.10	0.01	1/10
0.05	0.01	1/5

Tabla 2. Errores máximos permitidos para los densímetros de tipo

Existen densímetros de tipo oscilatorio para aplicaciones especiales (p.ej. investigación científica) que podrían tener una resolución de la densidad en pantalla de 0.001 kg m^{-3} , siempre y cuando el error máximo del instrumento no excede de 0.1 kg m^{-3} , y si los dígitos menos significativos estén marcados sin ambigüedad. (Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, pág. 11)



3.9.2 EXACTITUD DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO DE PROCESO PARA LÍQUIDOS HOMOGÉNEOS.

De acuerdo a la norma ISO 15212-2 [11], los errores máximos permitidos de los densímetros de tipo oscilatorio de proceso se encuentran listados en la Tabla.

Error máximo permitido (emp) km^{-3}	Resolución km^{-3}	Factor
1.0	0.1	1/10
0.5	0.1	1/5
0.20	0.01	1/20
0.10	0.01	1/10

Tabla 3. Errores máximos permitidos para los densímetros de tipo oscilatorio de proceso para líquidos homogéneos de acuerdo a la ISO 15212:2002

3.10 PRINCIPIO DE OPERACIÓN

3.10.1 DENSÍMETROS TIPO OSCILATORIO: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

Los sensores utilizados en estos densímetros trabajan por inducción eléctrica o mecánica de sistemas oscilatorios, cuya frecuencia de oscilación o periodo son función de la densidad de la muestra. Dependiendo del diseño del sensor, éste puede contener la muestra o ser inmerso en ella.

3.10.1.1 INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

Unidades funcionales

- Sensor de densidad capaz de contener la muestra o bien ser inmerso en ella
- Un dispositivo para excitar y controlar la oscilación del sensor
- Un dispositivo para determinar y presentar (en pantalla) la densidad y la frecuencia o el periodo de oscilación
- Un dispositivo para determinar y presentar (en pantalla) la temperatura de la muestra para la cual la medición de densidad es válida
- Un sistema para detectar y presentar (en pantalla) errores de funcionamiento u operación



Las unidades funcionales de la a) a la c) se les designa como el sistema de oscilación. Adicionalmente los densímetros tipo oscilatorios pueden incluir

- f) Una unidad para controlar la temperatura de la muestra y la densidad del sensor
- g) Dispositivo de muestreo
- h) Dispositivos para la limpieza del sensor

Todas las unidades funcionales pueden ser integradas en un solo instrumento o ser unidades separadas

(Metrología de Densidad)

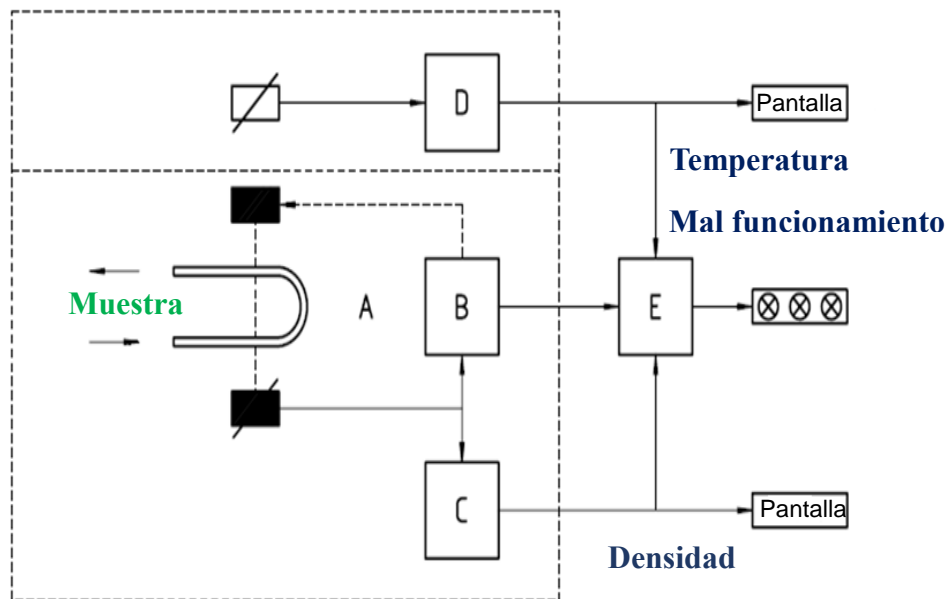


Fig.15 unidades funcionales de un densímetro de laboratorio



3.11 ASPECTOS GENERALES DE AJUSTE Y CALIBRACION DEL DENSÍMETRO TIPO OSCILATORIO

3.11.1 AJUSTE

Los fabricantes recomiendan a los usuarios de los densímetros de tipo oscilatorio realizar el ajuste de usuario regularmente a los instrumentos previo a su uso, debido a ellos la calibración debe realizarse después de haber aplicado este tipo de ajuste al instrumento. Los densímetros deben ser ajustados de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes. El ajuste se realiza para determinar y fijar las constantes de funcionamiento del instrumento. Usualmente, los fabricantes recomiendan que los instrumentos se ajusten con aire y agua pura (como mínimo agua destilada) o con otros líquidos cuya densidad sea conocida con la exactitud necesaria. El ajuste debe ser realizado a la temperatura de medición pretendida. Debido a que el funcionamiento de los densímetros de tipo oscilatorio depende de las constantes del mismo, es necesario que en aquellos instrumentos cuyas constantes estén disponibles para la lectura o el cambio por el usuario (o por el metrólogo), estas constantes deben ser registradas por el metrólogo durante la calibración. Cuando aplique, la calibración del densímetro de tipo oscilatorio se realizará en el modo de operación del densímetro que el usuario utiliza. Normalmente; este modo debe registrarse durante la calibración (p. ej. el modo de corrección de viscosidad, entre otros).

En densímetros de tipo oscilatorio de laboratorio, las impurezas o suciedad de la celda pueden ocasionar errores de indicación, debido a ello es muy importante que el laboratorio tenga procedimientos apropiados para la limpieza y la revisión de la colocación apropiada de todas las partes del instrumento, p.ej. las boquillas. En instrumentos en los que es posible ajustar la temperatura del líquido para su medición, si el usuario no solicita un valor de temperatura diferente, la calibración se debe realizar a 20 °C.



3.11.2 CALIBRACION

El laboratorio de calibración debe contar con los MRC's en densidad, necesarios para llevar a cabo la calibración con la exactitud requerida, así como contar con procedimientos para el manejo, control y almacenaje de los MRC's o (los líquidos de medición según sea el caso) con la intención de mantener el valor de densidad de los MRC's sin alteraciones. El valor de densidad de los fluidos, y la indicación de los densímetros de tipo oscilatorio dependen del valor de temperatura y de presión, por tal motivo el metrólogo debe comprobar que las indicaciones de temperatura y/o presión del instrumento (ya sea que éstas se desplieguen directamente en el mismo instrumento o en instrumentos separados), no tengan cambios significativos con relación a la incertidumbre requerida para la calibración.

La variación del valor de densidad del fluido ($\Delta\rho$), debido a un incremento o decremento de temperatura (Δt), es función del coeficiente de expansión térmico específico del fluido (α). Por otro lado, la variación en densidad debida a un cambio de presión (Δp), depende del coeficiente de compresibilidad específico del fluido (β). La calibración en general consiste en la comparación de la indicación del instrumento contra el valor certificado de densidad de un material de referencia, o el valor de la densidad del aire o del agua con trazabilidad demostrable a las unidades del SI, con una incertidumbre apropiada de acuerdo a la incertidumbre requerida de la calibración, en función de la clase de exactitud del instrumento a calibrar. En densímetros de tipo oscilatorio de laboratorio, la calibración debe incluir pruebas en la mayor cantidad de valores nominales posibles, buscando cubrir los siguientes tres valores nominales de densidad: la densidad del agua, un valor de densidad por debajo de la densidad del agua y un valor de densidad por arriba de la densidad del agua. Siempre que sea posible, se deben elegir valores de densidad que estén lo más próximo posibles al intervalo de medición de interés del usuario, tanto por arriba como por debajo del valor o intervalo de densidad de interés del usuario con la intención de cubrir las necesidades del usuario.



3.11.2.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Los densímetros de tipo oscilatorio de laboratorio pueden ser calibrados tanto en las instalaciones del usuario como en las instalaciones del proveedor del servicio de calibración, por su parte los densímetros de tipo oscilatorio de proceso, pueden ser calibrados en campo, instalados en la línea, o en laboratorio en instalaciones especiales que simulen condiciones de operación en cuanto a flujo, temperatura, presión, y si es el caso viscosidad, etc. El procedimiento de calibración de los densímetros de laboratorio incluye la comparación de las indicaciones del densímetro contra los valores de densidad de referencia (valores de los MRC's, o Medidos por un densímetro de características superiores). La calibración en general se realiza a 20 °C y a presión atmosférica, a excepción de que el usuario acuerde una o varias temperaturas diferentes. La calibración del densímetro de tipo oscilatorio se realiza a presión atmosférica. En caso de que el valor de la presión atmosférica durante la calibración sea diferente del valor de presión al cual se certificó el MRC's se debe aplicar la corrección debida a la diferencia de presión y a la compresibilidad del líquido. En el procedimiento de medición se debe indicar el tipo de instrumentos de medición y equipos que sean adecuados para utilizarse en el servicio de Calibración, como son los MRC's, termómetro, barómetro e termohigrómetro (si es necesario), así como el material y accesorios a utilizar para el manejo de los líquidos. Como parte del procedimiento de calibración de los densímetros de tipo oscilatorio, los laboratorios de calibración deberán definir los pasos a seguir para determinar el tiempo y número de mediciones necesarias para obtener resultados estables; en densímetros de tipo oscilatorio de laboratorio, previo a las mediciones finales, deben realizarse repeticiones para evaluar el comportamiento de la estabilidad del instrumento. El procedimiento de calibración debe incluir el proceso de limpieza de la celda de medición, considerando las indicaciones del fabricante y de las características del líquido introducido en la celda. Los certificados de los MRC's y del resto de los instrumentos deben estar vigentes al momento de realizar la calibración.



EL laboratorio debe garantizar que el manejo de los MRC's no pone en riesgo su trazabilidad. El metrólogo debe tener en cuenta que un mayor número de mediciones aumenta la confiabilidad de la calibración, sin embargo, también aumenta el costo de la misma, por lo que se debe buscar el balance apropiado entre la exactitud y el costo del servicio. El procedimiento de calibración del laboratorio debe incluir los siguientes elementos:

Lección de los MRC's a utilizar en función del intervalo de interés del usuario.

Elección apropiada del tipo y material de las jeringas y así como de los accesorios necesarios (como vasos de precipitado) para que no reaccionen químicamente con el(los) MRC's.

Registrar los datos del equipo a calibrar, marca, modelo número de serie, temperatura de calibración, el flujo, la presión de trabajo y la presión atmosférica de calibración.

Si la exactitud del densímetro lo requiere, la evaluación de las indicaciones de temperatura y presión del instrumento, contra instrumentos calibrados y certificados propios del laboratorio de calibración.

Registrar las constantes del instrumento (cuando aplique).

Para los equipos que cuenten con control de temperatura interno, se procede a fijar la temperatura a la que se realizará la calibración, lo que será indicado por el usuario. En caso que el densímetro a calibrar no cuente con el controlador de temperatura, la calibración se realizará registrando la temperatura que indique el instrumento.

Evitar la formación de burbujas en la celda de medición.

Inspección de las condiciones del instrumento.

Limpieza del instrumento de acuerdo a las instrucciones del fabricante.



Utilizar adecuadamente el método de comparación para determinar la desviación entre el instrumento y los MRC's

Evaluación de las correcciones y sus incertidumbres asociadas.

(Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, págs. 13-17)

Error máximo permitido (emp) km^{-3}	Resolución km^{-3}	Factor	Inc. máx. requerida en calibración $U_{req, k=2} \text{ } kgm^{-3}$
1.0	0.1	1/10	0.33
0.5	0.1	1/5	0.17
0.20	0.01	1/20	0.067
0.10	0.01	1/10	0.033
0.05	0.01	1/5	0.025

Tabla 4. Incertidumbre máxima requerida en calibración de los densímetros de tipo oscilatorio en función del emp, tanto para instrumentos de laboratorio como de proceso

3.12 CÁLCULO DE ERROR DE INDICACIÓN.

3.12.1 DENSIDAD

La densidad es una magnitud derivada que depende de dos magnitudes: masa y volumen.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La Masa se mide en kilogramos (kg) y el volumen en metros cúbicos (m^3) la densidad se medirá en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). Dos objetos hechos del mismo material tienen la misma densidad incluso cuando estos tengan diferentes masas y volúmenes. Esto es debido a que la razón de masa y volumen de ambos objetos es la misma.



Si se realizan las mediciones para la determinación de la densidad de algún cuerpo o sustancia a una temperatura diferente de la temperatura de referencia se puede obtener el valor de la densidad a la temperatura de referencia usando el

$$\rho_{t_{ref}} = \rho_t [1 + \alpha_V (t - t_{ref})]$$

Coeficiente de expansión volumétrica del material, de la misma forma se puede obtener el proceso inverso.

$$\rho_t = \left[\frac{\rho_{t_{ref}}}{1 + \alpha_V (t - t_{ref})} \right]$$

La densidad si varía con los cambios de presión y temperatura, así tenemos que:

Cuando aumenta la presión, la densidad de cualquier material estable también aumenta.

Al aumentar la temperatura, la densidad disminuye (si la presión permanece constante).

Sin embargo, existen notables excepciones a esta regla. Por ejemplo, la densidad del agua crece entre el punto de fusión (a 0 °C) y los 4 °C; Algo similar ocurre con el silicio a bajas temperaturas.

Debe señalarse que la variación de la densidad en líquidos y sólidos, por cambios de presión y temperatura, es muy pequeña debido al coeficiente de compresibilidad y al coeficiente de dilatación térmica en estas sustancias, todo lo contrario ocurre con los gases donde hay fuertes variaciones de densidad con cambios de presión y temperatura, como lo explica la Ley de los gases ideales. Los cuerpos sólidos suelen tener mayor densidad que los líquidos y éstos tienen mayor densidad que los gases. Este hecho está dado porque en un gas las partículas que lo componen están menos cohesionadas, en términos vulgares esto significa que están más separados. Esta cohesión aumenta en los líquidos y se hace aún mayor en los sólidos. La densidad puede obtenerse de forma indirecta y de forma directa. Para



la obtención indirecta de la densidad, se miden la masa y el volumen por separado y posteriormente se calcula la densidad.

La masa se mide habitualmente con una balanza, mientras que el volumen puede medirse

Determinando la forma del objeto y midiendo las dimensiones apropiadas o mediante el desplazamiento de un líquido, entre otros métodos.

Los instrumentos más comunes para medir la densidad son:

El densímetro, que permite la medida directa de la densidad de un líquido.

El picnómetro, que permite la medida precisa de la densidad de sólidos, líquidos y gases (picnómetro de gas).

La balanza hidrostática, que permite calcular densidades de sólidos.

La balanza de Mohr (variante de balanza hidrostática), que permite la medida precisa de la densidad de líquidos.

Otra posibilidad para determinar las densidades de líquidos y gases es utilizar un instrumento digital basado en el principio del tubo en U oscilante. Cuya frecuencia de resonancia está determinada por los materiales contenidos, como la masa del diapasón es determinante para la altura del sonido.

(IRVING H. SHAMES, 3 de enero 1995)



3.12.2 PESO ESPECÍFICO

El peso específico está definido por el cociente entre el peso de un cuerpo y su volumen, su unidad es N/m^3

$$\gamma = \frac{w}{V} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} = \frac{\text{masa} \cdot \text{gravedad}}{\text{Volumen}}$$

$$\gamma = \rho \cdot g = \text{Densidad} \cdot \text{Gravedad}.$$

La densidad de los materiales cambia, en mayor o menor grado, al variar las condiciones de presión y temperatura, sobre todo en los gases. Una gran parte de los materiales usados en la ingeniería se expanden, cuando se les calienta. Como resultado la densidad de estas sustancias disminuye al aumentar la temperatura, hay algunos casos en que la densidad aumenta cuando se eleva la temperatura un determinado intervalo. Es el caso del agua en el intervalo de (0 - 4) °C. (Mecánica de Fluidos ,Robert L. Moot, 2006)

3.12.3 VOLUMEN

El volumen como una magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones, largo, ancho y altura, y cuya unidad en el Sistema Internacional es el metro cúbico (m^3). El volumen de un cuerpo es una magnitud que nos permite conocer cuánto "lugar" ocupa en el espacio. Todos los cuerpos presentan esta propiedad así sean sólidos, líquidos o gaseosos, es decir, sin importar. Su estado físico tiene un volumen de $1 m^3$, corresponde al volumen de un cubo de 1 m de lado. Se denomina volumen específico al volumen ocupado por la unidad de masa. Para un fluido homogéneo se define como $v = V/m = 1/\rho$, mientras que en el caso general de un fluido homogéneo tendremos que hablar de su valor en un punto. (Mecánica de Fluidos ,Robert L. Moot, 2006)



3.12.4 VISCOSIDAD

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que es de gran importancia en múltiples procesos industriales, además de ser una variable de gran influencia en las mediciones de flujo de fluidos, el valor de viscosidad se usa como punto de referencia en la formulación de nuevos productos, facilitando la reproducción de la consistencia de un lote a otro.

$$\rho_{(t,p)} = \frac{m}{V_{(t,p)}}$$

En el Laboratorio de viscosidad del CENAM actualmente se trabaja para establecer la escala de viscosidad a partir de la viscosidad cinemática del agua. Mientras se consolida esta referencia primaria, actualmente se usan viscosímetros tipo Ubbelohde de geometría especial como patrones de referencia para la medición de viscosidad de líquidos newtonianos.

Para que exista movimiento de un cuerpo a través de un fluido o para el movimiento del fluido dentro de un conducto se debe ejercer una fuerza que sobrepase la resistencia ofrecida por el fluido. La magnitud de la resistencia ofrecida por el fluido es una resistencia a la deformación y estará determinada por la velocidad de deformación como por una propiedad del fluido denominada **viscosidad**.

Entonces la viscosidad se puede definir como la resistencia de los fluidos a fluir. A mayor viscosidad, menor flujo. En términos microscópicos se relaciona con las fuerzas intermoleculares, y con el tamaño y forma de las moléculas que constituyen el líquido. La viscosidad de la mayoría de los líquidos disminuye al aumentar la temperatura. (Mecánica de Fluidos, Frank M. White, 2004)

3.12.4.1 VISCOSIDAD DINÁMICA

El principio de viscosidad de Newton establece que: para un flujo laminar de ciertos fluidos llamados newtonianos, la tensión cortante en una interface tangente a la

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



dirección de flujo, es proporcional al gradiente de la velocidad en dirección normal a la interface. Es decir que la deformación angular que sufre el elemento de fluido mostrado en la figura, cuando es sometido a un es fuerza de corte, es igual al gradiente de velocidad en la dirección y (du/dy) .

. (Irving Herman Shames , 2003)

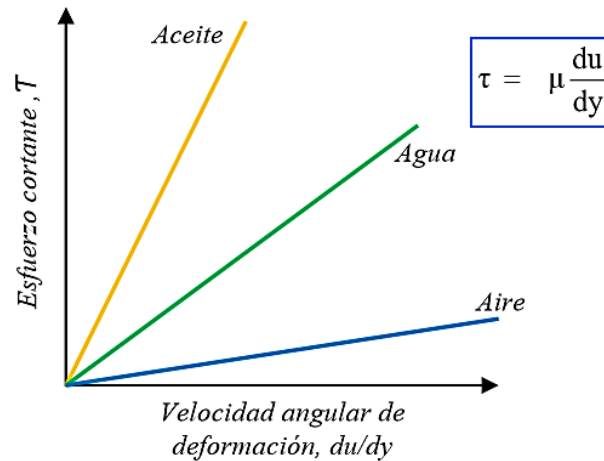


Fig. 16 viscosidad dinámica

Ecuación de Newton de la viscosidad:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad \mu = \text{Coeficiente de viscosidad dinámica}$$

Las unidades de la viscosidad dinámica en el SI, se obtienen aplicando el principio de homogeneidad dimensional a la ecuación de Newton de la viscosidad.

(Irving Herman Shames , 2003)

$$\left[\frac{N}{m^2} \right] = \mu \left[\frac{1}{s} \right] \rightarrow \mu \left[\frac{N \cdot s}{m^2} \right] = [Pa \cdot s] = \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

3.12.4.2 VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Frecuentemente en los cálculos de mecánica de fluidos se presenta el cociente de la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido. Por ello, de manera



convencional, la viscosidad cinemática se define como la razón entre la viscosidad dinámica y la densidad. (Irving Herman Shames , 2003)

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

Fluidos newtonianos y no newtonianos

Fluido newtoniano

Es todo fluido que se comporta según la ley de Newton de la viscosidad. Es decir que la viscosidad es función exclusiva de la condición del fluido.

Fluidos no newtonianos

No se comportan de acuerdo con la ley de Newton de la viscosidad. La viscosidad del fluido no newtoniano depende del gradiente de velocidad, además de la condición del fluido.

(Irving Herman Shames , 2003)

3.12.4.3 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD EN SU TEMPERATURA Y PRESIÓN.

La viscosidad de los fluidos es la responsable de la disipación de energía en forma de calor en el flujo de los mismos. Son dos las causas que originan esa viscosidad:

1º) las fuerzas de cohesión existentes entre las moléculas.

2º) el intercambio de cantidad de movimiento debido a la transferencia de moléculas de unos puntos a otros dentro de la vena fluida.

De acuerdo con estos dos factores, pueden explicarse las variaciones de la viscosidad con la temperatura y la presión, para los líquidos y los gases.

En los líquidos: la viscosidad es sensible a la temperatura y disminuye al aumentar ésta. Eso se debe a que predomina la disminución de la causa 1) sobre el aumento de la 2). Así, por ejemplo, la viscosidad del agua a 0 °C es 1,75 cP y a 100 °C es de 0,28 cP.



En cuanto al efecto de la presión, la viscosidad de los líquidos aumenta muy ligeramente con ella, siendo el agua una excepción, pues en ella la viscosidad primero disminuye y luego aumenta con la presión.

(IRVING H. SHAMES, 3 de enero 1995)

3.13 MODELO DE MEDICIÓN

Para obtener la corrección de la indicación del densímetro se calcula el promedio de las indicaciones registradas durante la calibración y se calcula la corrección del instrumento según el siguiente modelo matemático:

$$E = I - \rho_{ref}$$

E = es el error de indicación del densímetro de tipo oscilatorio, $g\ cm^3$.

I = es el mejor estimado de la indicación del instrumento, $g\ cm^3$.

ρ_{ref} = es el valor de referencia de densidad a la temperatura t_x y presión p_x de medición, $g\ cm^3$.

NOTA: La unidad de medida es el kilogramo por metro cúbico $kg, g\ cm^3$, sin embargo, pueden ser utilizados los múltiplos o submúltiplos de la unidad de densidad p.ej. gramo por centímetro cúbico, $g\ cm^3$.

(Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, pág. 18)



3.13.1 DENSIDAD DE REFERENCIA

El valor de la densidad de referencia puede provenir del valor certificado del MRC, o de la medición con un instrumento de características metrológicas superiores. Sea cual sea el origen del valor de densidad de referencia, este debe ser capaz de alcanzar la exactitud requerida.

La densidad a las condiciones de medición se calcula con la siguiente expresión:

$$\rho_x = \rho_{cert} f_{t-1} f_{p-1} - \epsilon_{est}$$

ρ_x = Es el valor de la densidad a una temperatura (t_x) y presión (p_x) kgm^3

ρ_{cert} = Es el valor de densidad de referencia a las condiciones de referencia, a la temperatura T y a la presión P, unidades en $kg\ m^{-3}$.

f_t = Es el factor de corrección de la densidad debido a un cambio de temperatura Δt , adimensional.

f_p = Es el factor de corrección de la densidad debido a un cambio de presión Δp , adimensional.

ϵ_{est} = Es un error de densidad debido a la (falta de) estabilidad del valor de densidad de referencia

. (Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, pág. 19)

3.13.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DENSIDAD DEBIDO A UN CAMBIO DE TEMPERATURA

El factor de corrección, para corregir el valor de densidad de referencia debido a un cambio en temperatura ($\Delta t = t_x - t_{ref}$) se calcula de la siguiente expresión

$$f_t = 1 + \alpha_{vol}(t_x - t_{Ref})$$

f_t = Es el factor de corrección por temperatura, adimensional

α_{vol} = Es el coeficiente de expansión volumétrico del fluido, $^{\circ}C^{-1}$

t_x = Es la temperatura x, a la que se desea conocer la densidad del fluido $^{\circ}C$



El coeficiente de expansión volumétrica del fluido puede expresarse de diferentes formas: en otras unidades $kg\ m^{-3}\ ^\circ C^{-1}$ o como una función de la temperatura. (Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, pág. 19)

3.13.3 CÁLCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DENSIDAD DEBIDO A UN CAMBIO EN EL VALOR DE LA PRESIÓN.

El factor de corrección para corregir la densidad de referencia debido a un cambio en presión ($\Delta p = p_x - P_{Ref}$)

$$fp = 1 - \beta(p_x - P_{Ref})$$

fp = Es el factor de corrección por presión, adimensional

β = es el coeficiente de compresibilidad isotérmico del fluido Pa^{-1}

P_x = Presión x , a la que se desea conocer la densidad del fluido, Pa^{-1}

P_{Ref} = presión de referencia a la que se conoce la densidad del fluido, Pa

Nota: El coeficiente de compresibilidad isotérmico del fluido puede expresarse de diferentes formas: en otras unidades (p. ej. en $g\ cm^3\ .\ pa^{-1}$) o como una función de la presión. (Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, pág. 20)

3.13.4 EL MEJOR ESTIMADO DE LA INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO

El mejor estimado de la indicación del instrumento se obtiene de la siguiente ecuación:

$$I = \bar{I} - \epsilon_{res} - \epsilon_{reprod} - \epsilon_{visc}$$

\bar{I} = es el promedio de las indicaciones del instrumento $kg\ m^{-3}$

ϵ_{res} = es el error debido a la resolución finita del instrumento $kg\ m^{-3}$

ϵ_{reprod} = Es el error debido a la reproducibilidad del instrumento $kg\ m^{-3}$

ϵ_{visc} = es el error debido a la viscosidad del líquido, $kg\ m^{-3}$



3.13.5 PROMEDIO DE LAS INDICACIONES DEL INSTRUMENTO.

El promedio de las indicaciones del instrumento, se calcula de la siguiente manera:

$$\overline{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i$$

I_i = es la indicación i-esima del instrumento $km \ m^{-3}$

n = es el número total de mediciones realizadas

NOTA: Es importante señalar que estas indicaciones deben ser independientes, por lo tanto, es necesario que la muestra del fluido sea diferente (que se renueve antes de registrar cada medición).

(Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, pág. 21)



<p>Error debido a la resolución finita del instrumento</p>	<p>El error debido a la resolución finita del instrumento tiene valor medio cero, no así su contribución de incertidumbre, $e(\epsilon_{res}) = 0, \sigma(\epsilon_{res})$.</p>
<p>Error debido a la reproducibilidad del instrumento.</p>	<p>El error debido a la reproducibilidad del instrumento tiene valor medio cero, no así su contribución de incertidumbre. $E\epsilon_{(reprod)}=0, \sigma(\epsilon_{reprod})$</p>
<p>Error debido a la viscosidad del fluido</p>	<p>En los instrumentos de tipo oscilatorio, la muestra de fluido tiene un efecto de amortiguamiento de la vibración. Este amortiguamiento está en función de la viscosidad del fluido. La viscosidad del fluido también tiene el efecto de mover ligeramente los nodos de oscilación, estos dos efectos combinados producen un error k en $kg\ m^3$ del orden de $k \approx 0.05\sqrt{n}$, en donde n es la viscosidad en $mPa\ s$. Nota: El error debido a la viscosidad del líquido, puede estimarse con media cero, pero la incertidumbre asociada de este error se calculará en función de la viscosidad del líquido, $E(\epsilon_{visc})=0\ \sigma(\epsilon_{visc})$.</p>

(Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio, abril 2016, pág. 21)



3.14 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGUA

La densidad del agua es sumamente importante en las mediciones de densidad, ya que, como se ha mencionado anteriormente es usada como patrón de densidad. El agua para ser considerada como patrón de densidad debe ser completamente pura y sin gases disueltos en su interior, para poder confirmar la pureza del agua se mide la conductividad la cual debe ser igual o mayor a 18,2 mega ohms por centímetro a 20°C.

Una vez que se considera el agua es completamente pura, su densidad dependerá únicamente de la temperatura.

Para el cálculo de la densidad del agua se utiliza la siguiente fórmula, la cual es válida en el intervalo de temperatura de 0°C hasta 40°C. La ecuación tiene una incertidumbre relativa de 1×10^{-5} debida al ajuste de coeficientes.

$$\rho_{agua} = \left\{ a_5 \left[1 - \frac{(t + a_1)^2 (t + a_2)}{a_3 (t + a_4)} \right] + C_{ad} \right\} F_c$$

$t =$ valor de temperatura °c

$$a_1 = -3983035$$

$$a_2 = -301797 \text{ °C}$$

$$a_3 = 522528.9 \text{ °C}$$

$$a_3 = 522528.9 \text{ °C}$$

$$a_4 = 6934881 \text{ °C}$$

$$a_5 = 999,997 \text{ Kg/m}^3$$

$$k_0 = 50.74 \times 10^{-11} \text{ pa}^{-1}$$

$$k_1 = -0.326 \times 10^{-11} \text{ pa}^{-1}$$

$$k_1 = -0.00416 \times 10^{-11} \text{ pa}^{-1}$$

F_c Factor de corrección por compresibilidad

$$F_c = [1 + (k_0 + k_1 t + k_2 t^2)(p - p_0)]$$

$p =$ presión atmosférica en Pa

$$p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$$

$$k_0 = 50,74 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$$

$$k_1 = -0,326 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$k_2 = 0,00416 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1} \cdot \text{°C}^{-2}$$

C_{ad} Corrección por aire disuelto en el agua

$$C_{ad} = s_0 + s_1 t$$

$$s_0 = -4,612 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$s_1 = 0,106 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$$



Para el cálculo de la incertidumbre combinada de la densidad del agua, se deriva la ecuación anterior con respecto a la temperatura (Anexo A) y se agrega la componente de incertidumbre debida a la ecuación.

$$u_{\rho_{agua}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{agua}}{\partial t} u_t\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{agua}}{\partial p} u_p\right)^2 + u_{ec}^2}$$

D_t = Incertidumbre debido a la temperatura

D_p = Incertidumbre debido a la presión

$U_{ec}=4,5 \times 10^{-4} \text{kg.m}^{-3}$ (k=1)

3.15 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE

La densidad del aire es muy importante en las mediciones de densidad especialmente cuando se realizan por métodos gravimétricos, ya que las mediciones de masa se realizan inmersas en este fluido y debe realizarse la corrección por empuje del aire. La densidad del aire está en función principalmente de la temperatura termodinámica del aire, la presión atmosférica y la humedad relativa.

Para conocer el valor de la densidad del aire es preciso conocer estos valores con sus incertidumbres, las cuales dependerán de los instrumentos y las variaciones que presenten en el intervalo de tiempo para el cual se desea determinar el valor de la densidad del aire.

$$\rho = \frac{PM_a}{ZRT} \left[1 - X_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right]$$

ρ Densidad del aire (kg/m^3)

p presión ambiental (Pa)

M_a masa molar del aire húmedo ($M_a = 0,028\,963\,512\,440 \text{ kg/mol}$)

Z factor de compresibilidad (adimensional)

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



R constante molar del gas ($R = 8,314\,510 \pm 8,4 \times 10^{-6}$ J/mol K)

T temperatura del aire en K

x_v fracción molar del vapor de agua

M_v masa molar del agua ($M_v = 0,018\,015$ kg/mol)

Para el cálculo de la incertidumbre combinada de la densidad del aire se deriva la ecuación de la densidad del aire con respecto a sus variables originales, temperatura, presión y humedad relativa, así como introducir las incertidumbres correspondientes a la constante R, y a la ecuación, (anexo A)

$$u_p = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial p} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial p} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial f} \cdot \frac{\partial f}{\partial p} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial p} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial f} \cdot \frac{\partial f}{\partial p} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial p} \right) \right]^2 \cdot u_p^2 + \left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial a} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial a} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial f} \cdot \frac{\partial f}{\partial a} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial p_{sv}} \cdot \frac{\partial p_{sv}}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial a} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial a} \right) \right]^2 \cdot u_a^2 + \left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial f} \cdot \frac{\partial f}{\partial a} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial p_{sv}} \cdot \frac{\partial p_{sv}}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial a} \right) \right]^2 \cdot u_a^2 + \left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial h} \right) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x_v} \cdot \frac{\partial x_v}{\partial h} \right) \right]^2 \cdot u_h^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial R} \right)^2 \cdot u_R^2 + u_{ec}^2}$$



CAPITULO IV METODOLOGIA

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



Los densímetros de tipo oscilatorio es el equipo de medición de densidad con tubo “U” oscilante, que ofrece resultados de medición con la más alta precisión en un muy amplio rango de viscosidad y temperatura, es un inigualable oscilador de referencia adicionado, garantizando resultados exactos inmediatamente después de regular una nueva temperatura de medición y se encarga de que, con un solo ajuste a 20°C, sirva para todo el rango de temperatura de medición.

Midiendo el amortiguamiento de la oscilación del tubo “U” causando la influencia de viscosidad sobre la medición de la densidad.

Para llevar a cabo el proyecto, se necesita realizar las siguientes indicaciones. A continuación, se presentan las actividades que se desarrollara en el Centro Nacional de Metrología (CENAM).

1. La selección de los líquidos, que se medirán en el densímetro tipo oscilatorio. con la variación de diferentes puntos de temperatura, viscosidad y densidad.
2. Estudio de la hoja de seguridad de cada uno de los líquidos seleccionados, para conocer sus propiedades, su uso y aplicación, proporcionando información básica para la orientación del uso de cada material de referencial a utilizar.
3. Capacitación en la medición de densidad de líquidos con densímetros digitales de tipo oscilatorio y principio de funcionamiento, y cada uno de sus componentes.
4. limpieza del equipo y de los materiales de RFC a utilizar en el proceso de las mediciones.
5. Ajuste y calibración del equipo, antes de realizar cada una de las mediciones.
6. Medición de líquidos seleccionados en densímetro digital.



4.1 SELECCIÓN DE LÍQUIDOS A MEDIR, EN EL DENSÍMETRO TIPO OSCILATORIO. ANTON PAR DMA 5000

Selección de líquidos a medir en el Densímetro tipo Oscilatorio (Anton Paar (DMA5000)) realizando una variedad de pruebas para evaluar como el equipo realiza la corrección de densidad por viscosidad, Con una variación de diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Líquidos seleccionados					
15	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
18	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
20	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
22	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
25	Agua	Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol

Tabla 5. Líquidos seleccionados, con diferentes puntos de temperatura



4.2 ESTUDIO DE LA HOJA DE SEGURIDAD DE CADA UNO DE LOS LÍQUIDOS SELECCIONADOS.

El objetivo de la hoja de seguridad es proporcionar información básica para la orientación de la sustancia o material a utilizar, sus propiedades, riesgos y que hacer en caso de alguna emergencia. La importancia es la información sobre cómo se puede manipular, usar y almacenar el material con seguridad. Debe presentar un resumen de la información de seguridad. Para que esté completo y sea claro, debe contener información sobre el producto químico e información sobre el proveedor. Así mismo el lenguaje usado en las hojas de seguridad para materiales peligrosos debe ser comprensible para la audiencia más amplia posible.

Identificación del material

Identificación de riesgos

Primeros auxilios

Derrames y fugas

Manipulación y almacenamiento

Exposición / protección personal

Propiedades fisicoquímicas

Información toxicológica

Consideraciones sobre los derechos



4.3 CAPACITACIÓN EN LA MEDICIÓN DE DENSIDAD DE LÍQUIDOS UTILIZANDO UN DENSÍMETRO DIGITAL.

Los densímetros son medidores de densidad y concentración que se desarrollaron para combinar la mayor precisión con un funcionamiento fácil y un diseño robusto. El densímetro que se utilizó para llevar a cabo las pruebas de medición fue, el densímetro oscilatorio de la marca Anton Paar, con las siguientes características.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DMA™ 5000 M	
Patentes concedidas	AT 516420 (B1) AT 517082 (B1)
Patentes pendientes	AT 517486 (A1)
Rango de medición	Densidad: De 0 g/cm ³ a 3 g/cm ³ Temperatura: 0 °C a 100 °C (32 °F a 212 °F) Presión: Hasta 10 bares (145 psi)
Repetibilidad (desviación estándar): ⁽¹⁾	Densidad: 0,000001 g/cm ³ Temperatura: 0,001°C/0,002°F
Reproducibilidad (desviación estándar) ⁽¹⁾	Densidad: 0,000005 g/cm ³
Exactitud ⁽²⁾	Densidad: 0,000007 g/cm ³ Temperatura: 0,01 °C/0,02 °F
Tablas y funciones integradas	Tablas para alcohol Tablas de azúcar/extracto Funciones API Tablas para ácidos/bases 150 funciones de usuario/tablas de programación libre (tablas, polinomios, fórmulas, funciones lineales y constantes)
Volumen mínimo de muestra	aprox. 1 ml
Tiempo de medición por muestra ⁽³⁾	40 segundos
Dimensiones (largo x ancho x alto)	495 mm x 330 mm x 230 mm (19,5 pulg. x 13 pulg. x 9,1 pulg.)
Memoria de datos	1000 resultados de medición (memoria circular opcional)



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
DMA™ 5000 M**

Interfaces	x USB RS-232 LATA VGA Ethernet
Peso	22,5 kg (49,6 libras)
Pantalla	Pantalla táctil brillante TFT PCPA de 10,4" (640 x 480 px) con disposición de pantalla personalizable
Piezas en contacto con la muestra	Politetrafluoroetileno (PETE), vidrio boro silicato
Industrias	Bebidas Industria química Cosméticos, cuidado personal Educación, investigación Electrónica Medio ambiente Farmacia, medicina, biotecnología
Suministro eléctrico	CA 100 a 240 V 50 a 60 Hz 190 VA



4.3.1 CORRECCIÓN LÍDER DE LA VISCOSIDAD

- Correcciones automáticas de la viscosidad en todo el rango de viscosidad de las muestras
- Eliminación de los errores debidos a la viscosidad dos veces más efectiva que antes
- No son necesarios estándares de viscosidad

4.3.2 EXCELENTE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

- Repetibilidad de hasta siete dígitos
- Reproducibilidad 100 % mejorada
- Proceso de producción optimizado gracias a una pérdida mínima de muestra
- Eficacia imbatible en los flujos de trabajo

4.3.3 GESTIÓN DE LA TEMPERATURA THERMOBALANCE™

- Sin fluctuaciones debidas a la temperatura
- Sin efectos de envejecimiento debidos a la temperatura en la celda de medición
- Cambio rápido entre temperaturas sin desviaciones y con la seguridad de una estabilidad inmediata de la temperatura

4.3.4. EL CONOCIMIENTO MÁS DETALLADO DE SUS MUESTRAS

- La nueva función de la cámara U-View™ muestra y almacena imágenes en directo del sensor del tubo en U oscilante y de toda la muestra llenada para que pueda tener los detalles a mano en cualquier momento.
- La combinación única de U-View™ y FillingCheck™, la función para la detección automática en tiempo real de la burbuja, controla la totalidad de la secuencia de medición
y permite la verificación posterior de los resultados, lo cual es especialmente útil cuando se utilizan
- sistemas de muestreo automáticos.



4.3.5 COMPONENTES FUNCIONALES DEL DENSÍMETRO OSCILATORIO

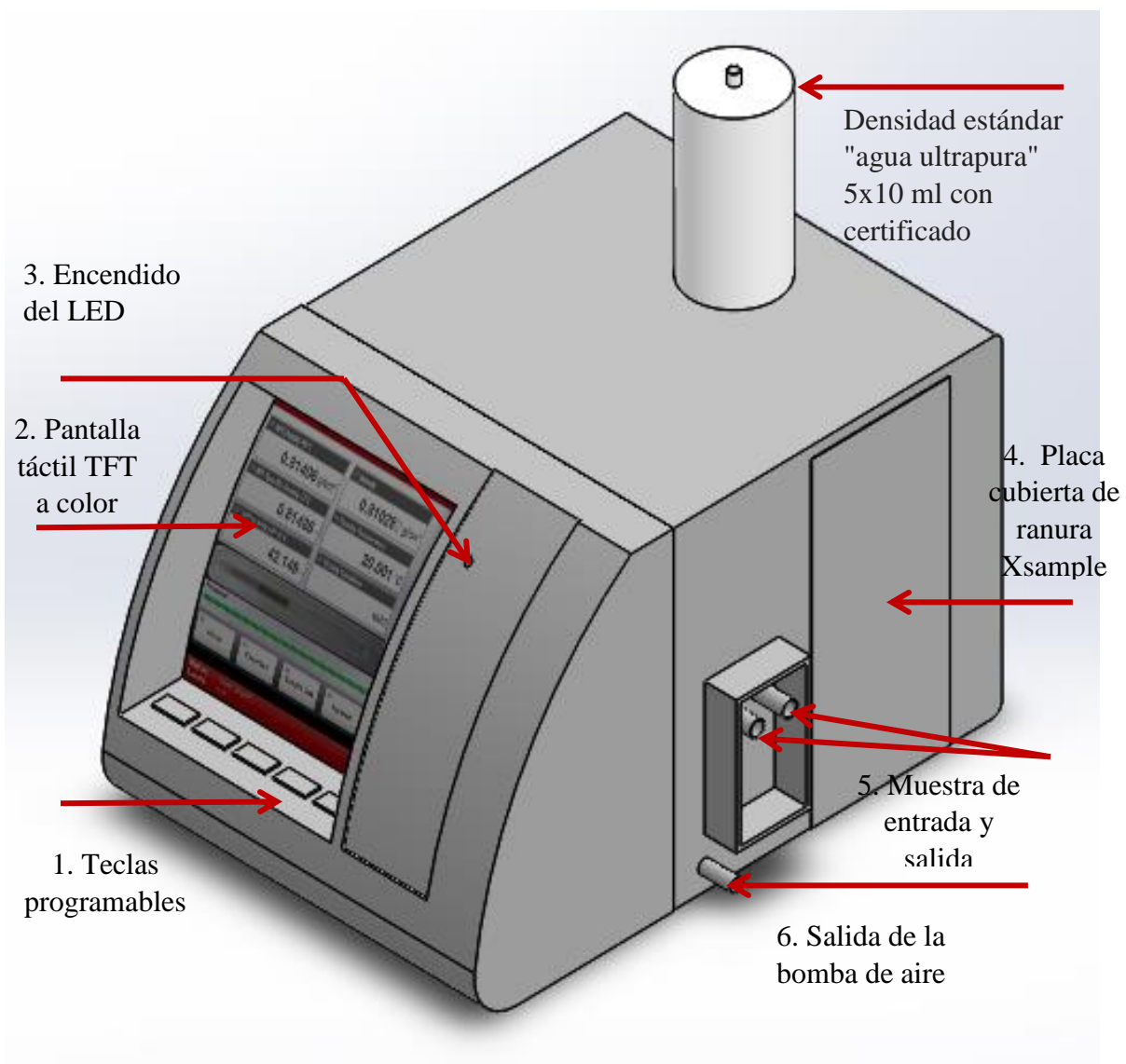
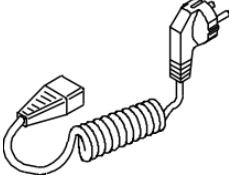


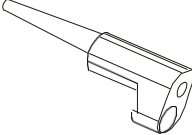
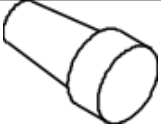

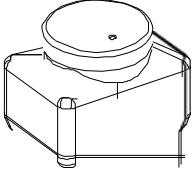


Fig. 17 Vista del lado frontal y derecho de DMA 5100 M



4.3.6 PIEZAS DEL DENSÍMETRO ANTON PAAR DMA5000

SIMBOLO	DESCRIPCION DEL ARTICULO
	Cable de alimentación
	Densidad estándar "agua ultrapura" 5x10 ml con certificado
	Manguera 3 x 5 mm de silicona (transparente).
	Jeringa 2 ml de luer
	Enchufe Luer macho PTFE
	Destornillador
	Recipiente de residuos



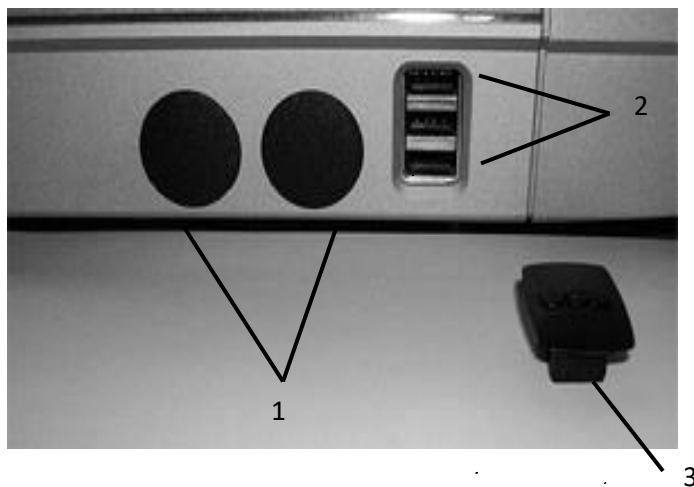


Fig. 18 vista del lado izquierdo

1. Cubiertas ciegas para entrada y salida del kit de refrigeración opcional.
2. Interfaces USB
3. Cubierta de protección para las interfaces USB.

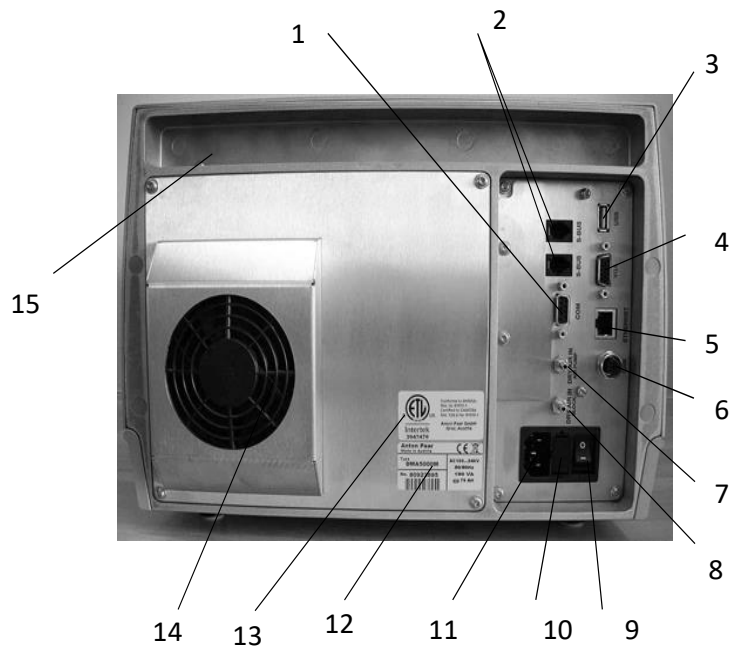


Fig.19 vista posterior del densímetro oscilatorio

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



1. interfaz RS-232 (COM)
2. interfaces S-BUS
3. interfaz USB
4. interfaz VGA
5. Interfaz Ethernet
6. Interfaz CAN
7. conector "DRY AIR IN AIR PUMP"
8. conector "DRY AIR IN BLOCK"
9. Interruptor de encendido
10. Porta fusibles
11. Entrada de alimentación
12. placa de tipo con número de serie
13. marca de prueba UL
14. Fan
15. Llevando el borde.

4.3.7 ELEMENTOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA PRINCIPAL



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



Encabezamiento: En la parte izquierda del encabezado, encontrará el nombre del método actualmente activo y el número de muestra. En el lado derecho del encabezado encontrará un reloj y el indicador de usuario. El indicador de usuario indica el tipo de usuario que está actualmente conectado.

Área de contenido: En el área de contenido, los valores de medición se muestran en campos de salida pequeños, medianos o grandes. El diseño del área de contenido se define en la configuración del método actual y se puede adaptar de acuerdo con sus necesidades. La barra de progreso en la parte inferior del área de contenido indica si el instrumento está midiendo actualmente o si se terminó una medición.

<Menú>	Para abrir el menú principal.
<Favoritos>	Para abrir la lista de favoritos.
<Configuración rápida>	Para abrir la lista de configuración rápida. Solo disponible en el modo "Lista de no muestra" en lugar de <Muestra Lista> botón.
<Lista de muestras>	Para abrir la lista de muestras actual.
<Método>	Para abrir la lista de métodos y seleccionar un método.
<Start>	Para iniciar una medición.
<Stop>	Para detener y abortar una medición.

Tabla 6. Área de botones



Área de acceso rápido



Para abrir la lista de diagnósticos. El estado general del instrumento, así como todos los errores de medición que se han producido durante las mediciones de la lista de muestras actualmente activa se describen en esta lista. El botón cambia su apariencia dependiendo del estado de error actual: Con cheque verde: El estado general del instrumento y el estado de error de todas las muestras medidas de la lista de muestra actual están bien.



Con señal de advertencia amarilla:

- El instrumento (o sistema) tiene un problema menor (por ejemplo, un chequeo de aire o agua está vencido, hay un problema con la impresora, etc.).
- Una o más muestras de la lista de muestras actualmente activa tuvo un error de llenado.



Con signo de rayo rojo:

- El instrumento (o sistema) tiene un problema importante que debe solucionarse antes de continuar con las mediciones (por ejemplo, el cambiador de muestras está bloqueado).
- No se pudieron medir una o más muestras de la lista de muestras actual (por ejemplo, la celda de medición está parcialmente vacía, por lo que no puede oscilar).

Para restablecer el botón de diagnóstico a la verificación verde,





U-View™: para abrir la vista de cámara en directo de la celda de medición (solo DMA 4500/5000 M).



Para arrancar / parar la bomba de aire. La bomba de aire está apagada.

La bomba de aire está encendida.



Para descongelar la pantalla después de una medición terminada. La pantalla está congelada.

Modo de monitor

Si aún no ha comenzado una medición, o si ha finalizado una medición tocando <Parar>, el instrumento está en modo monitor y muestra una lectura continua de los valores de medición actuales.

Modo de medición

Ha comenzado una medición, los valores de medición continuos se muestran hasta que finaliza la medición. Los valores finales se congelan hasta que se inicia la siguiente medición. Para descongelar la pantalla, toque el botón.



4.3.8 INDICACIONES DE SEGURIDAD

Las condiciones de instalación para DMA 5000 corresponderán a las condiciones en un laboratorio típico.

4.3.8.1 PRODUCTOS QUÍMICOS

El uso de productos químicos peligrosos o inflamables como muestras o líquidos de limpieza podría destruir el instrumento y causar lesiones graves si no se toman precauciones especiales.

4.3.8.2 PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DE LA TEMPERATURA, NO COLOQUE DMA 5000.

- Cerca de un calentador
- Cerca de un acondicionador de aire
- En una superficie vibratoria o cerca de equipos vibratorios
- A la luz solar directa.

4.3.8.3 VENTILACIÓN Y HUMEDAD DEL EQUIPO

Un fuerte ventilador de refrigeración integrado disipa el calor a través de la parte inferior y posterior de DMA 5000. Asegúrese de que el flujo de aire no esté bloqueado y garantice una distancia mínima de 10 cm (3.9 pulgadas) a las paredes detrás y además del instrumento.

Una humedad alta o una temperatura de medición significativamente inferior a la temperatura ambiente pueden provocar condensación dentro de las celdas de medición. Instale un cartucho de secado para evitar la condensación.



fig.20 montaje de los adaptadores de inyección de Luer



4.3.8.4 ADAPTADORES

Inserte con cuidado los adaptadores de inyección en las aberturas de la placa de sujeción del adaptador en el lado derecho del instrumento.

Si el tornillo para sujetar el adaptador está atornillado demasiado apretado, la celda de medición de densidad puede dañarse. Líquidos nocivos que se escapan del instrumento pueden causar lesiones.

Los líquidos que se escapan del instrumento pueden causar lesiones y riesgo de incendio.

Utilice únicamente la manguera y el recipiente de desechos suministrados si sus materiales son resistentes a las muestras y los líquidos de limpieza que va a inyectar.

Si los materiales suministrados no son resistentes, use otras piezas hechas de material apropiado.



4.3.8.5 ENCENDIDO Y APAGADO DEL INSTRUMENTO

Asegúrese de que el enchufe de alimentación y el interruptor de alimentación siempre estén fácilmente accesibles para que el instrumento pueda desconectarse fácilmente de la red eléctrica en cualquier momento.

El alto voltaje en partes del instrumento puede causar lesiones graves o la muerte.

Solo conecte los instrumentos a la red a través de puesta a tierra de protección.

Nunca conecte el instrumento a la red a través de una separación de protección o aislamiento de protección.

Asegúrese de que el conductor de tierra no fusionado del cable de alimentación esté conectado a tierra.

Antes de encender el instrumento, asegúrese de que esté disponible la tensión de línea correcta (CA 100 a 240 V, 50 a 60 Hz). Si se esperan grandes fluctuaciones de voltaje, recomendamos usar una fuente de voltaje constante (UPS).

Conecte la entrada de alimentación del DMA M a la red usando el cable de alimentación.

Para encender el instrumento, use el interruptor de alimentación en la parte posterior.

El LED verde en la parte frontal del DMA M indica que la energía está encendida.

Espere al menos 15 minutos para que la temperatura se estabilice.

Después de encender la corriente, el instrumento necesita aprox. 15 minutos para equilibrar la temperatura y ajustar la temperatura interna. Durante este tiempo, se muestra "temp. Equilibrarían".

No apague el instrumento durante la noche. Esto permite que la celda de medición logre estabilidad de temperatura a largo plazo.



4.3.8 .6 PANTALLA TÁCTIL

- Solo use los dedos limpios y secos para operar la pantalla táctil.
- Nunca use objetos filosos.
- Opere la pantalla táctil solo con la suave presión de la punta del dedo.
- Use los botones tocando directamente sobre ellos.
- Los botones en la parte inferior de la pantalla también se pueden activar con las teclas programables debajo de ellos.

4.3.9 TECLADO EN LA PANTALLA



Fig. 21 Teclado de densímetro tipo oscilatorio



Las funciones de los botones especiales son:








	Borra el carácter en el lado izquierdo de la posición del cursor.
	Mueve la posición del cursor a la izquierda / a la derecha.
	Cambios a mayúsculas en modo de caracteres alfabéticos y a especiales Caracteres en modo numérico.
	Cambios en el modo numérico.
	Cambios en el modo de caracteres alfabéticos.
	Cambios a otros caracteres especiales.
	Para la notación de números exponenciales, por ej. para ingresar 0.025 como 2.5×10^{-2} (solo modo número).

Tabla 7. Funciones de botones especiales

4.3.10 MEDICION DE CONTROL, AJUSTE Y CALIBRACION

3.3.10.1 COMPROBACIÓN

Verificando el correcto estado de funcionamiento de un instrumento midiendo una muestra de propiedades de medición exactamente conocidas y comparando el resultado con los valores esperados.

4.3.10.2 AJUSTE DEL DENSIMETRO

Permitir mediciones correctas en el futuro inyectar una muestra de propiedades de medición (estándar) exactamente conocidas y ajustar las constantes del instrumento de forma tal que el instrumento encuentre los resultados correctos conocidos. Usualmente se necesitan al menos dos estándares con propiedades de medición que abarquen los resultados de medición esperados de sus muestras para un ajuste exitoso.



4.3.10.3 CALIBRACIÓN DEL DENSÍMETRO.

Las calibraciones son procedimientos de verificación que se llevan a cabo utilizando estándares certificados. Al comparar el resultado medido con el valor de referencia estándar, puede validar la calidad de sus mediciones.

4.3.11 AJUSTE

Un ajuste es necesario cuando las desviaciones entre la densidad indicada y el valor de referencia del patrón utilizado, sobrepasan las especificaciones del equipo a las del patrón.

Para el ajuste normal se utilizan aire y agua bidestilada y desgasificada.

Para permitir una medición de densidad en todo el rango de temperatura se utiliza un ajuste de fábrica, aunque el ajuste rutinario solamente se puede realizar a 20°C.

Si las mediciones bajo diferentes temperaturas indican en el DMA un valor con una desviación referente al valor de densidad de referencia, es necesario un ajuste de aire y agua para todo el rango de temperatura.

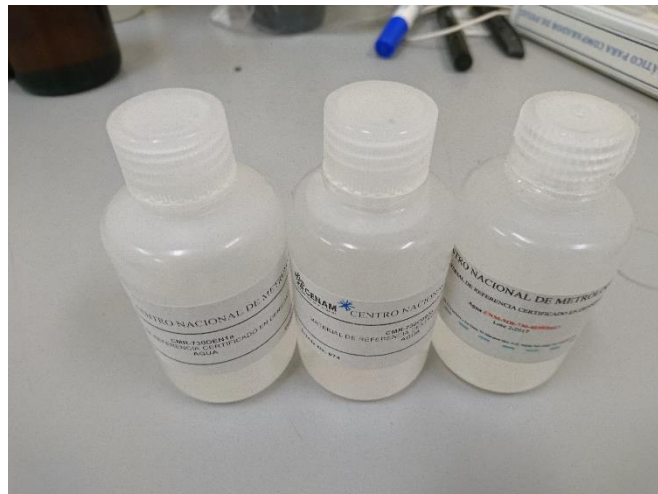
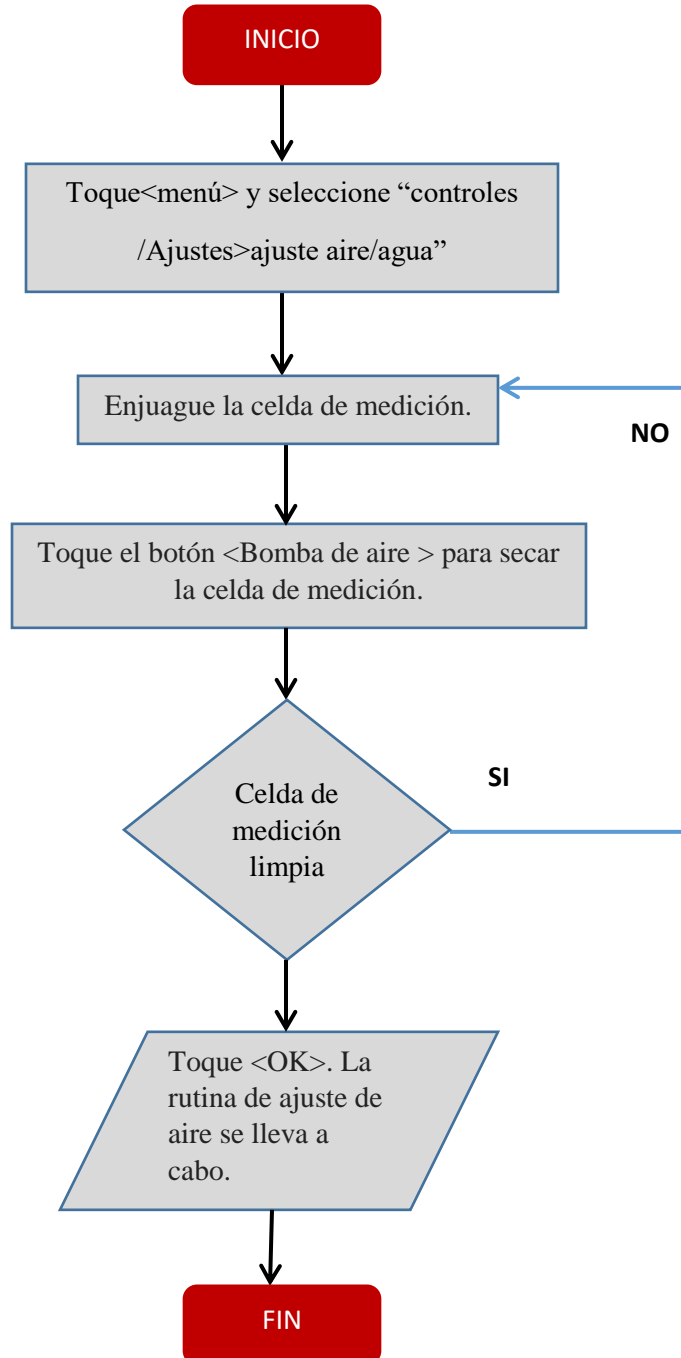


Fig. 22 material de referencia certificado en Densidad -agua



4.3.11.1 AJUSTE CON AIRE A 20°C

Para el ajuste rutinario (5-10 minutos), se utiliza aire seco y agua bidestilada a 20°C.



NOTA: para el ajuste del aire debe ser introducida la presión atmosférica actual, ya que esta influye en la densidad del aire.

Los valores de densidad del agua y aire seco correspondientes a una presión atmosférica específica a introducir, estaba memorizados para todo el rango de temperatura en la memoria del DMA.

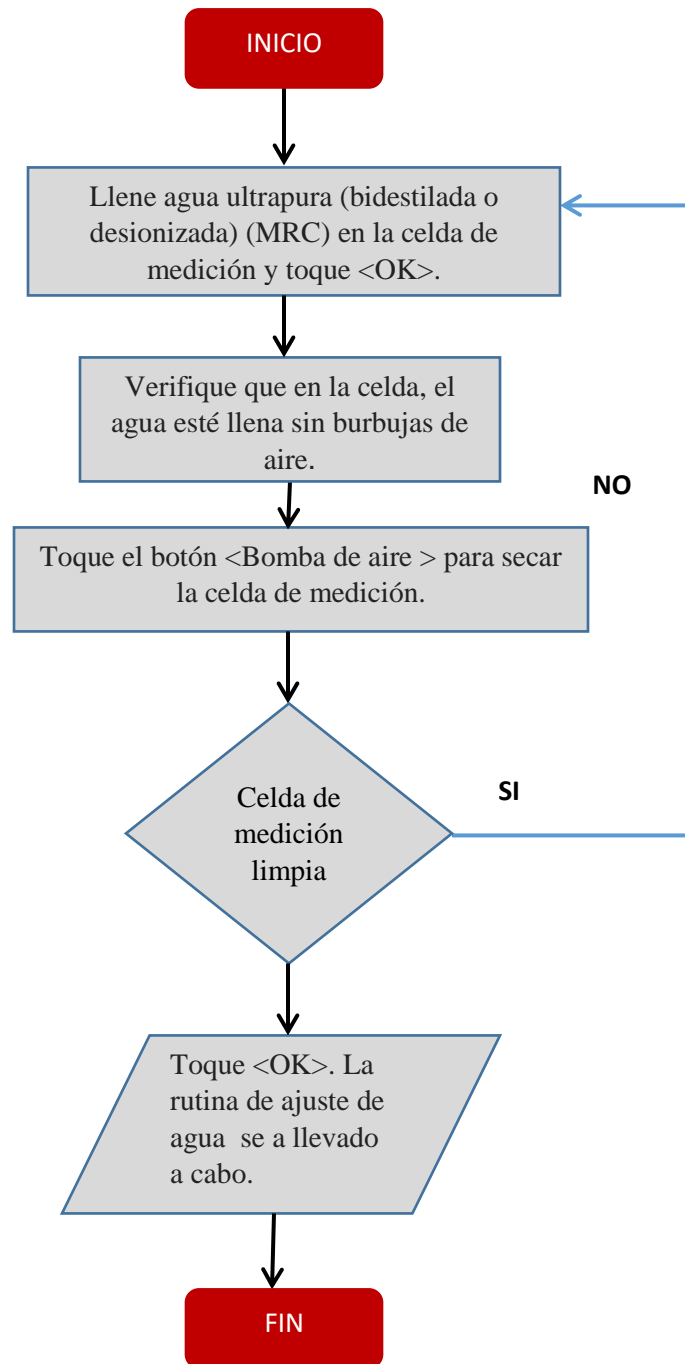
Si no dispone del valor de a presión atmosférica actual, introduzca de la siguiente tabla el valor medio de la presión atmosférica en dependencia de la altura del lugar de ubicación.

Altura sobre el nivel del mar		Presión atmosférica
[m]	[ft]	[mbar]
0	0	1013
400	1312	966
800	2625	921
1200	3937	877
1600	5249	835
2000	6562	795
2400	7874	756
2800	9186	719
3200	10499	683
3600	11811	649

Tabla 8. Nivel del mar y presión atmosférica



4.3.11.2 AJUSTE CON AGUA A 20°C



4.3. 11.3 FINALIZACION DEL AJUSTE

Valor anterior: densidad de agua calculada del ajuste anterior.
Nuevo valor: densidad de agua calculada con las nuevas constantes de ajuste.
Desviación: desviación relativa y absoluta entre el valor nuevo y antiguo.

4.3. 12 CALIBRACION

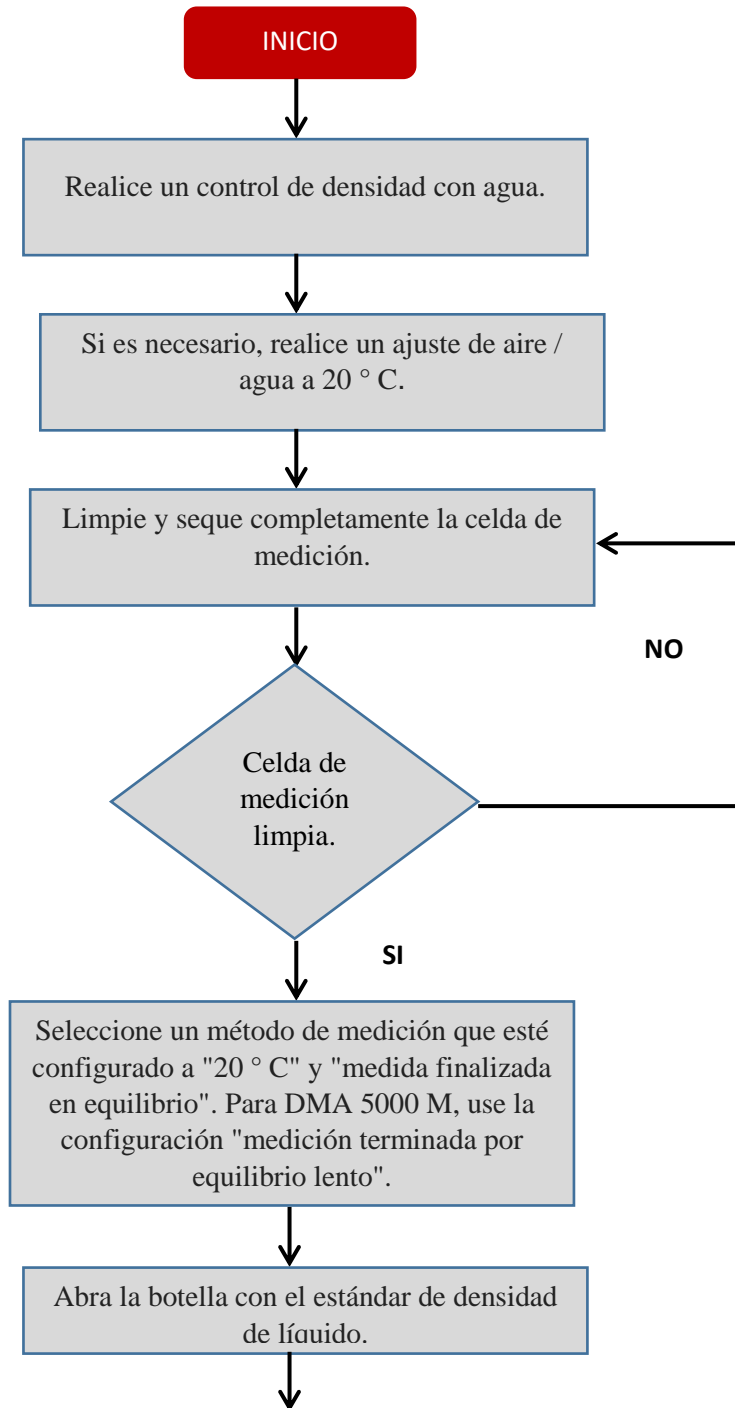
- El objetivo de una calibración es validar la precisión de la medición de densidad.
- Para calibrar el instrumento, mida un líquido estándar certificado y compare el resultado con el valor de referencia indicado en el certificado de calibración de la norma.
- Las propiedades físicas (densidad, viscosidad) de los estándares de densidad del líquido deben ser similares a las de las muestras.
- La frecuencia de las calibraciones con los estándares de densidad de líquidos certificados depende de sus requisitos y criterio

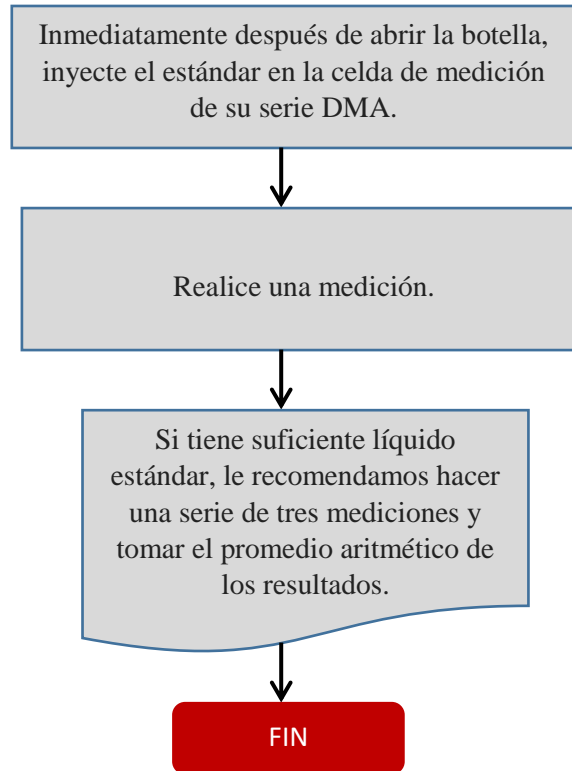
4.3.12.1 RECOMENDACIONES

- Calibrar 1 a 2 calibraciones por año.
- Siempre verifique la fecha de vencimiento de los líquidos de calibración.
- Guarde los líquidos de calibración en un lugar fresco y oscuro.
- Use los líquidos de calibración inmediatamente y solo una vez después de abrir el contenedor.



4.3.12.2 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA CALIBRACIÓN DE DENSÍMETROS TIPO OSCILATORIO





4.12.3 CONTENIDO DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Esta sección contiene consejos sobre la información que puede ser útil ofrecer en un certificado de calibración. Se pretende ser consistente con los requerimientos de la ISO/IEC 17025, los cuales tienen prioridad.

Información general

- Identificación del Laboratorio de Calibración.
- Identificación del certificado (número de calibración, fecha de expedición, número de páginas),
- Firma(s) de persona(s) autorizada(s).
- Identificación del cliente.
- Identificación del instrumento calibrado
- información del instrumento (fabricante, modelo, resolución, lugar de instalación).



4.3.12.4 INFORMACIÓN ACERCA DEL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

- Fecha de calibración.
- Fecha de emisión.
- Lugar de calibración y lugar de instalación del instrumento, en caso de que estos sean diferentes,
- Condiciones ambientales y/o de uso que pueda afectar a los resultados de la calibración.
- Información acerca del instrumento: las constantes de funcionamiento del instrumento, si éstas están disponibles para el metrologo, el ajuste realizado, cualquier anomalía del funcionamiento, los ajustes del software, la instalación si esto es relevante para la calibración, modo de operación, etc.).
- Cuando aplique, una descripción de las condiciones de medición, en caso de que éstas no sean obvias en el certificado, p.ej. tiempo de estabilización observado en las indicaciones.
- Referencia al método de calibración empleado, p.ej. Método de comparación contra MRC's.
- Acuerdos con el cliente
- Información acerca de la trazabilidad de los resultados de la medición.

4.3.12.5 MATERIALES DE REFERENCIA

Para la calibración de los densímetros de tipo oscilatorio de laboratorio, se deben emplear materiales de referencia certificados en densidad.

De acuerdo con la NMX-CH-161 [5] se deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. Los valores de densidad de los MRC's declarados en los certificados correspondientes deben acompañarse por una incertidumbre a un nivel de confianza y con trazabilidad documentada
2. Incluir la descripción del material
3. Indicar su propósito de uso



4. Señalar las instrucciones de su uso correcto
5. La fecha de calibración
6. El periodo de validez y,
7. Alguna otra información relevante (p.ej. el coeficiente de expansión térmica y de compresibilidad isotérmica del material). Por su parte, los productores de los MRCs en densidad deben cumplir con los requisitos generales establecidos en la NMX-CH-164 [6] para demostrar su competencia, habiendo sometido los MRCs a las pruebas de homogeneidad, estabilidad y caracterización conforme a lo establecido en la NMX-CH-165 [7].

El laboratorio de calibración debe tener especial cuidado para proteger el (MRC) contra cualquier tipo de contaminación, almacenándolo en lugares secos y manteniendo la temperatura dentro de los límites sugeridos por el fabricante para no cambiar sus propiedades, en los cuidados para los MRC's se debe tomar en cuenta que una vez utilizado el producto para una calibración éste no puede ser reutilizado, por lo tanto el (MRC) que se obtenga de la salida del densímetro será almacenado como desecho del proceso. La etiqueta que contenga el recipiente con el (MRC) deberá contar con los datos mínimos que hagan referencia a la vigencia, uso y propiedades de dicho material.







En caso de utilizar más de un (MRC) en los servicios de calibración es necesario contar con un proceso de limpieza que permita mantener limpia la celda del densímetro entre muestra y muestra, de esta forma se evita la contaminación del líquido muestra o (MRC) y se garantiza una buena medición.



Fig. 23 materiales de referencia certificado. Por laboratorio de CENAM

4.4 MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS LÍQUIDOS SELECCIONADOS

4.4.1 ACCESORIOS PARA REALIZAR LAS MEDICIONES EN EL DENSÍMETRO OSCILATORIO

EQUIPO DE SEGURIDAD	
	Guantes de nitrilo de soft
	Papel óptico
	Gafas de seguridad
	Bata

Nota: el equipo de seguridad debe ser sujetado por el trabajador, para que lo proteja de uno o más riesgos, que pueda amenazar su seguridad y/o salud, así como mantener la limpieza del material y equipo, para evitar un riesgo de contaminación, en la celda de medición del densímetro.

Materiales




ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



	<p>Jeringa de teflón</p>
	<p>Vasos precipitados</p>
	<p>Manguera de tygon</p>
	<p>Embudo de acero inoxidable</p>

Nota: Para asegurar una precisión constante y alta de sus mediciones, emplee una rutina de limpieza regular y efectiva, Por ningún motivo se desconectará la jeringa de la boquilla de la celda de medición después de la inyección del MRC y durante la toma de la lectura del densímetro. Se debe evitar que la manguera de salida del líquido del densímetro se encuentre sumergida en los residuos del líquido.



Solventes para la limpieza de la celda de medición	
	<p>Acetona</p>
	<p>Alcohol</p>
	<p>Material de referencia certificado en densidad Agua (MRC)</p>

Nota: materiales de limpieza dentro de la celda de medición del densímetro, eliminando los residuos del MRC(o de cualquier otra sustancia) para no contaminar los líquidos siguientes y afectar su valor de densidad de las muestras.



4.4.2 MEDICIONES DE DENSIDAD DE LOS LIQUIDOS

Se realizaron, una serie de variación de mediciones, de los líquidos seleccionados, con una repetibilidad de 5 muestras de cada uno, con diferente punto de temperatura.

Los datos, que se leerán en cada muestra serán:

Densímetro oscilatorio	Medidor de presión (atmosférica)
1. Densidad con/corrección.	Presión inicial
2. Densidad sin/ corrección	Presión -final
3. Temperatura	
4. Periodo del tiempo	



Fig. 24 datos de densidad, densímetro oscilatorio



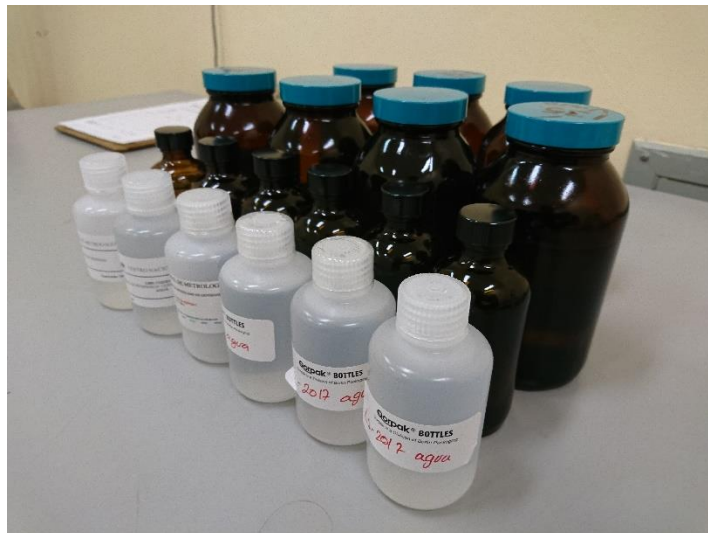


Fig. 25 líquidos seleccionados para medir en el densímetro tipo oscilatorio

Líquidos seleccionados				
Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol
Polialfaolefina 710-6	Polialfaolefina 710-10	Polialfaolefina 710-11	pentadecano	Etilenglicol

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.





Fig. 26 Densímetro tipo oscilatorio, con los líquidos de referencia seleccionados.

Antes de comenzar una medición, verifique si:

- las mangueras están conectadas correctamente
- las conexiones de la manguera están apretadas
- la manguera de desecho conduce al contenedor de desechos
- el volumen del contenedor de residuos es lo suficientemente grande para el número de muestras
- se ingresan los nombres de muestra correctos
- la configuración del método está configurada correctamente
- líquidos de limpieza adecuados están disponibles.



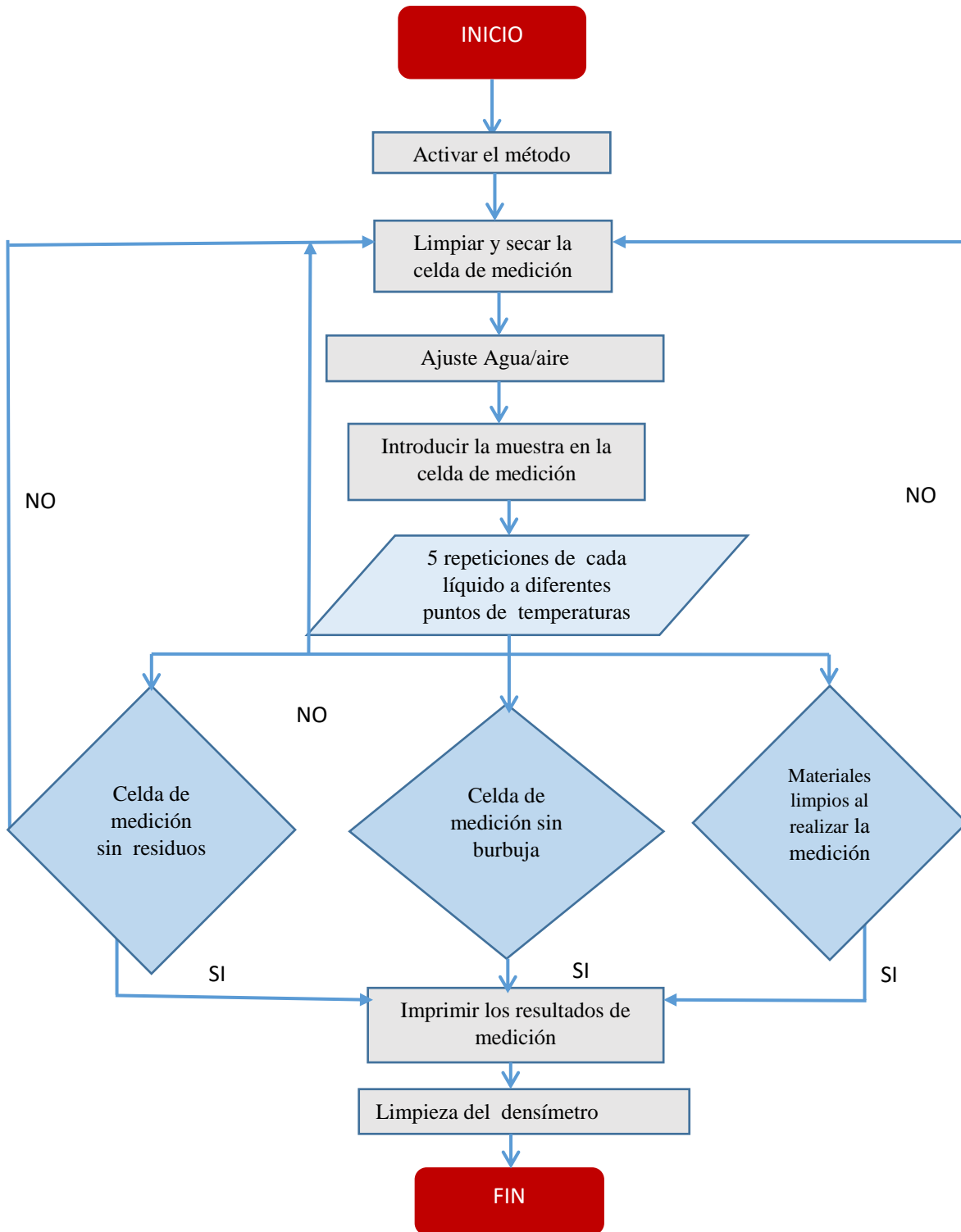


Fig. 27 Mangueras de conexión conectadas correctamente al densímetro tipo oscilatorio

- Los niveles de líquido en el contenedor de muestras y el contenedor de desechos deben estar por debajo del nivel de llenado del instrumento.
- Nunca coloque la bomba peristáltica o el contenedor de desechos en la parte superior del instrumento.
- Verifique las mangueras de la bomba peristáltica diariamente.
- Verifique el tiempo de vida de las mangueras especificadas por el proveedor y cambie la manguera con frecuencia.



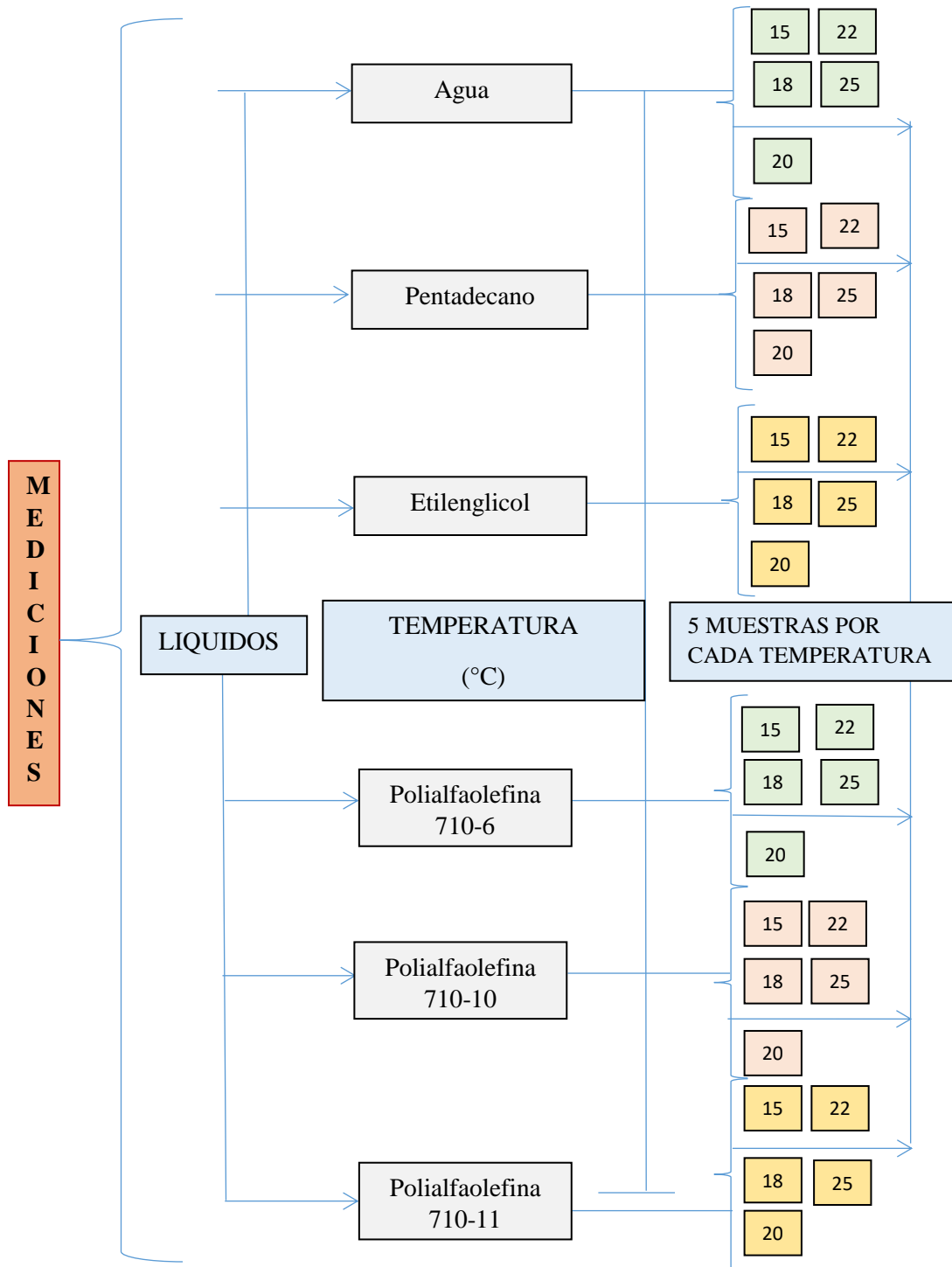
4.5 METODO DE MEDICIÓN DE LOS LÍQUIDOS SELECCIONADAS



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



4.5.1 REPETIBILIDAD EN LA SERIE DE DIFERENTES LÍQUIDOS SELECCIONADAS



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



4.5.2 MUESTRAS DE LLENADO

Para lograr resultados de medición altamente precisos, llene las muestras en la celda de medición de forma homogénea y sin burbujas.

asegúrese de que se cumplan todas las instrucciones de seguridad relativas al uso de productos químicos y al uso de productos químicos inflamables
asegúrese de que todas las partes mojadas sean resistentes al líquido llenado
asegúrese de tener a mano fluidos de limpieza adecuados para limpiar la celda de medición
Si hay un cambiador de muestras conectado, verifique la resistencia de las partes húmedas. Para obtener información sobre los materiales, consulte el manual de instrucciones correspondiente del cambiador de muestras.
PRECAUCION
Las muestras con una tendencia moderada a corroer el vidrio de borosilicato tales como soluciones alcalinas fuertes (por ejemplo, sosa cáustica) pueden medirse con el DMA M.
Sin embargo, tenga cuidado de eliminar dichas muestras inmediatamente después de la medición y enjuague las celdas de medición correctamente.
Verifique la validez del ajuste con más frecuencia de lo recomendado generalmente.
Realice un nuevo ajuste, si es necesario



4.5.2 CANTIDAD DE LA MUESTRA

Si la celda de medición está limpia y seca, necesita aprox. 1 ML de muestra.

Si está midiendo sin limpiar y secar entre las muestras, necesita una mayor cantidad de muestra porque debe eliminar los residuos de la muestra anterior de la celda de medición para evitar la contaminación cruzada.

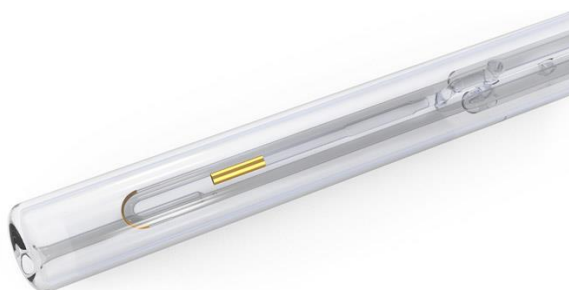


Fig. 24 celdas de medición del densímetro oscilatorio

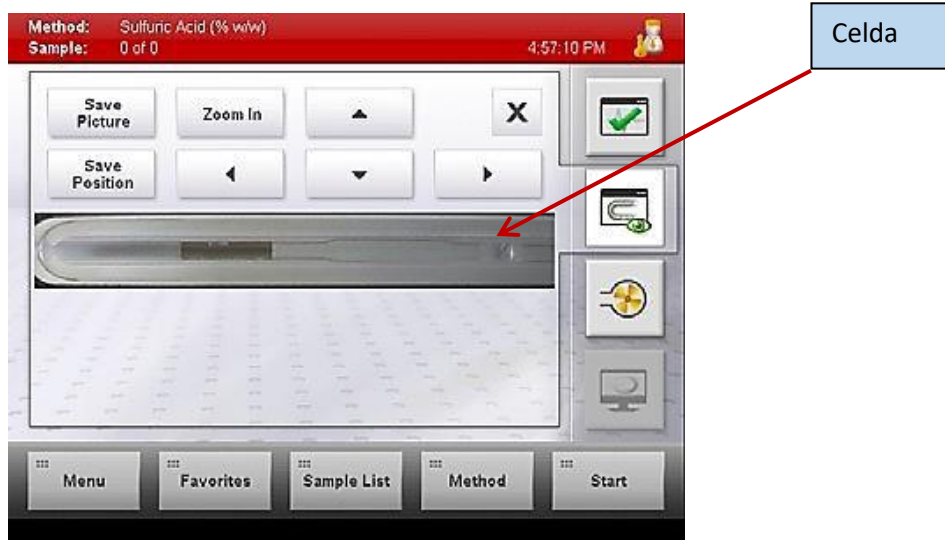
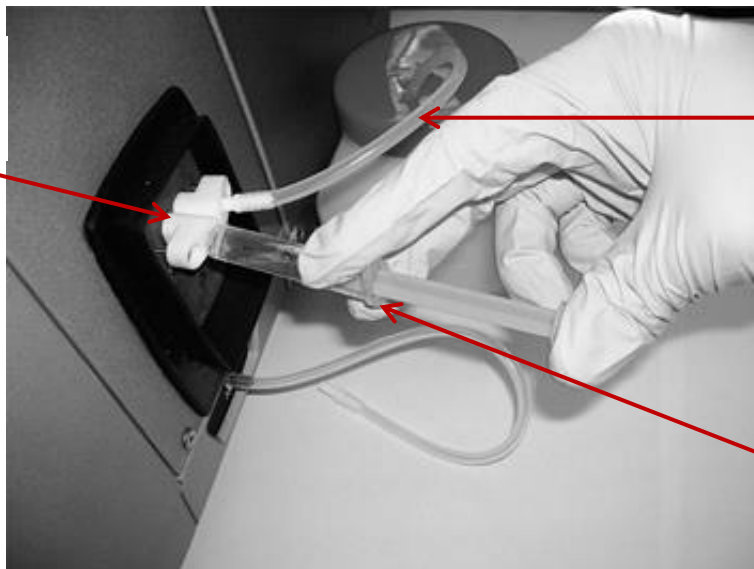


Fig. 28 cámaras de la celda



4.5.3 LLENADO DENTRO DE LA CELDA

1. Conecte la jeringa al adaptador de entrada de muestra.



2. Empuje el émbolo de la jeringa lenta y continuamente hasta que salga una gota del adaptador de salida de muestra.

Deje la jeringa en la posición de llenado durante la medición.

Fig. 29 inyectar la muestra en el densímetro tipo oscilatorio

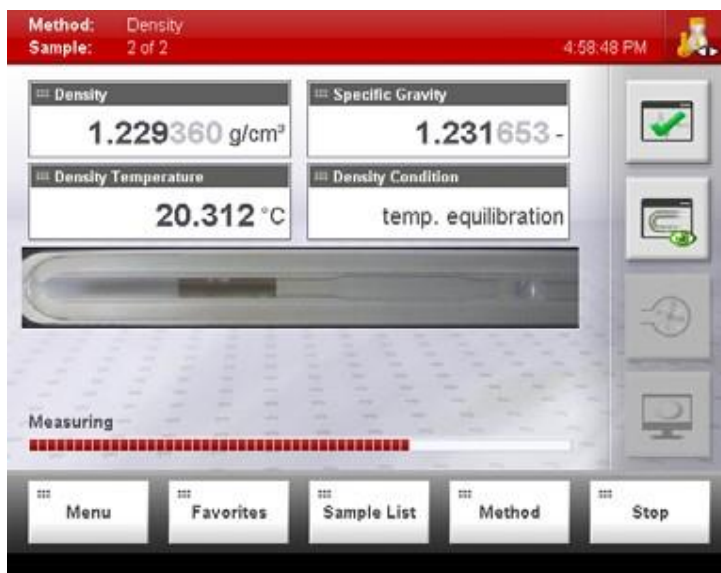


fig.30 muestra en la celda

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



- Durante las mediciones, los últimos 1, 2 o 3 dígitos pueden ser de color gris. Esto significa que la temperatura establecida aún no se ha alcanzado. En ese caso, solo los dígitos de color negro son válidos.
- El número de dígitos válidos (de color negro) aumenta durante el progreso de la medición hasta que todos los dígitos sean negros (cuando se usa el modo de equilibrio).

Cuando finaliza la medición, la barra de progreso se vuelve verde, aparece el mensaje "Terminado" y se emite una señal acústica. El campo de salida "Density condition" muestra el mensaje "valido"

- Los valores resultantes se guardan en la memoria de datos y se pueden imprimir o

4.5.4 LIMPIEZA

Limpeza y almacenamiento del instrumento	Para asegurar una precisión constante y alta de sus mediciones, emplee una rutina de limpieza regular y efectiva y almacene el instrumento bajo las condiciones recomendadas.
Limpeza y secado de la celda de medición.	Los líquidos que se escapan del instrumento pueden provocar lesiones y riesgo de incendio. Antes de llenar cualquier muestra o líquido de limpieza en su densímetro asegúrese de que: se cumplen todas las instrucciones de seguridad relacionadas con el uso de productos químicos y el uso de productos químicos
Frecuencia de limpieza	Limpe y seque la celda de medición al menos después de cada jornada de trabajo o turno de trabajo. La limpieza más frecuente puede ser necesaria. <ul style="list-style-type: none"> • Cuando realiza ajustes. • cuando mides una muestra que no es miscible con la muestra anterior • Cuando desee medir usando una cantidad mínima de muestra. • Cuando Mide una muestra que podría reaccionar químicamente con la muestra anterior.



Almacenamiento del instrumento	<p>Limpie y seque la celda de medición antes de guardar el instrumento por más de un día. De lo contrario, las algas pueden crecer en la superficie del vidrio que son difíciles de eliminar.</p> <p>Para el almacenamiento por menos de un día, la celda de medición se puede llenar con agua desionizada o el último líquido de limpieza que se haya inyectado. En caso de inyección con jeringa, deje la jeringa montada en el adaptador de inyección para evitar el derrame del líquido.</p>
Limpieza de la carcasa del instrumento y la pantalla táctil	Para limpiar la carcasa del instrumento o la pantalla táctil, utilice un tejido blando que pueda humedecerse con etanol o agua tibia, si es necesario con algún agente de limpieza suave.

4.5.4.1 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA

Los líquidos para realizar la rutina de limpiezas fueron: acetona, alcohol y agua.

1. Enjuague la celda de medición con líquido de limpieza (repetir 3 veces o más si son necesarias).
2. Si su muestra es viscosa o contiene partículas, use más líquido de limpieza.
3. Vacíe la celda de medición.
4. Insertar la bomba de aire. (secar la celda)
5. Verificar si el equipo mide bien, con agua y aire

Agua densidad: 0.998202 (MRC)

Aire densidad: 0.000950



V CAPITULO RESULTADOS

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



Se realizó una toma de datos que arroja el densímetro al insertar la muestra y se elaboró una tabla de los diferentes líquidos y temperaturas y la presión.

Densidad sin/corrección
 Densidad con /corrección
 Temperatura
 Periodo del tiempo

Ecuación de densidad de referencia

$$\rho_x = [\rho_0 [1 + \alpha(t_x - t_0)]]^{-1}$$

$$\rho_0 = [\rho_x [1 + \alpha(t_x - t_0)]]^{-1}$$

$$\frac{\rho_0}{\rho_x} = [1 + \alpha(t_x - t_0)]$$

$$\alpha = \frac{\left[\frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right]}{[t - t_0]}$$

ALFA (α) DE TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Encontrar el Alfa (α) de temperatura ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) para los diferentes líquidos de medición, para conocer la densidad de pesada hidrostática. Para ello se debe conocer los datos de densidad con/ corrección de promedio, medidos en el densímetro oscilatorio de cada temperatura.

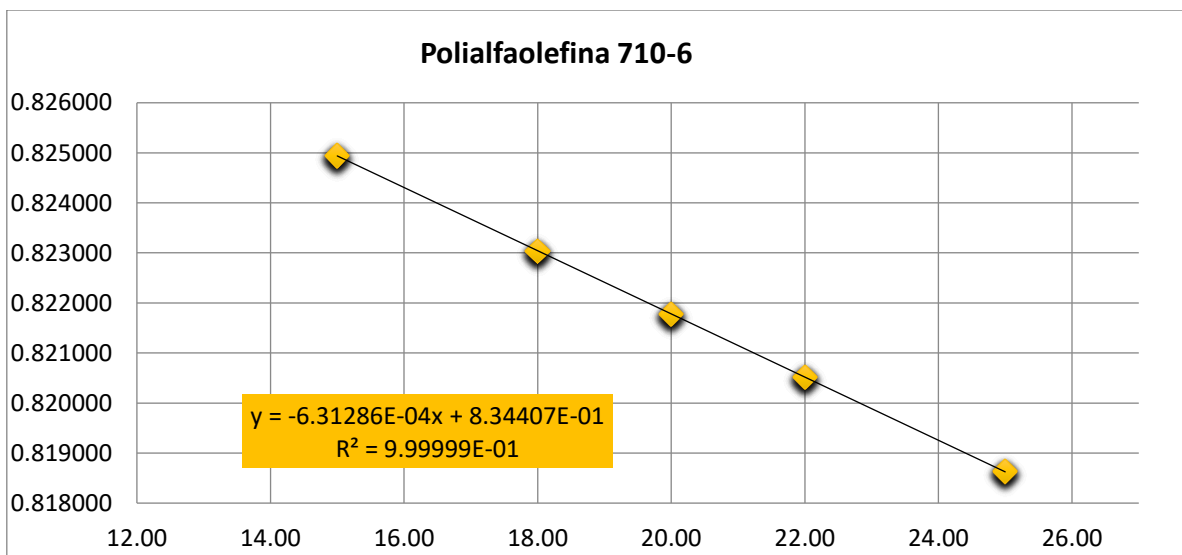
Ecuación para el Alfa ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) diferente temperatura.

$$\alpha^{\circ}\text{C}^{-1} t_{x_{1,2,3,\infty}} = \frac{\left[\frac{\rho_0 (\text{promedio})}{\rho_x (\text{promedio})} - 1 \right]}{[t - t_0]}$$



TABLA 1. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}^{-1}$ DE LA POLIALFAOLEFINA 710-6

N°	Líquido	Temperatura	Densidad C/correccion	temperatura (x)	Densidad C/correccion promedio (x)	$\alpha^{\circ}\text{C}^{-1}$
		$^{\circ}\text{C}$	g cm^3			
1	POLI 710-6	15.00	0.824940			
2	POLI 710-6	15.00	0.824937			
3	POLI 710-6	15.00	0.824940			
4	POLI 710-6	15.00	0.824940			
5	POLI 710-6	15.00	0.824939	15	0.824939	-0.0007687
1	POLI 710-6	18.00	0.823041			
2	POLI 710-6	18.00	0.823044			
3	POLI 710-6	18.00	0.823042			
4	POLI 710-6	18.00	0.823043			
5	POLI 710-6	18.00	0.823043	18	0.823043	-0.00076772
1	POLI 710-6	20.00	0.821777			
2	POLI 710-6	20.00	0.821780			
3	POLI 710-6	20.00	0.821781			
4	POLI 710-6	20.00	0.821782			
5	POLI 710-6	20.00	0.821784	20	0.821781	
1	POLI 710-6	22.00	0.820518			
2	POLI 710-6	22.00	0.820521			
3	POLI 710-6	22.00	0.820520			
4	POLI 710-6	22.00	0.820517			
5	POLI 710-6	22.00	0.820518	22	0.820519	-0.00076784
1	POLI 710-6	25.00	0.818627			
2	POLI 710-6	25.00	0.818626			
3	POLI 710-6	25.00	0.818623			
4	POLI 710-6	25.00	0.818626			
5	POLI 710-6	25.00	0.818627	25	0.818626	-0.00076784
					alfa $^{\circ}\text{C}^{-1}$	-0.000768

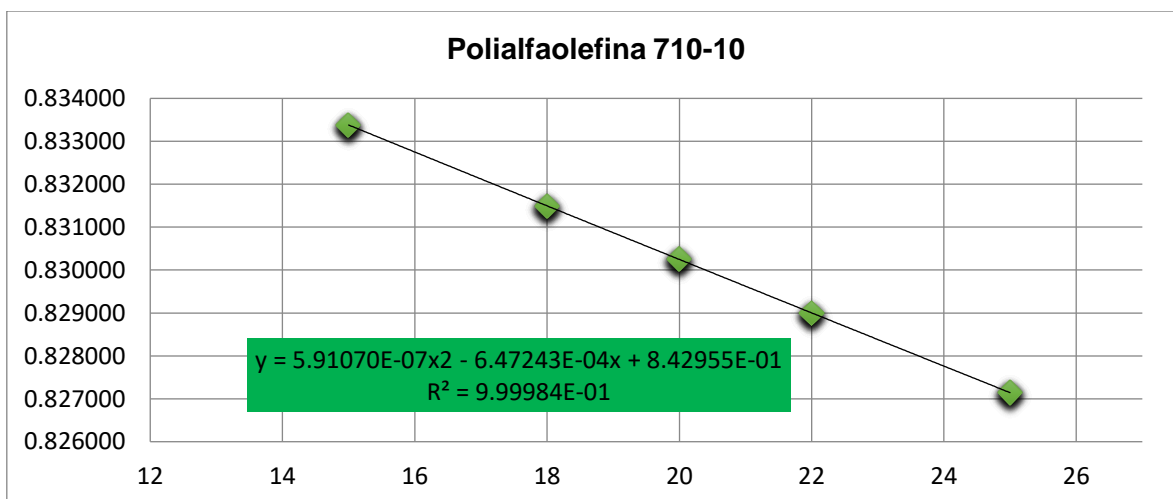


ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



TABLA 2. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}^{-1}$ DE LA POLIALFAOLEFINA 710-10

N°	Líquido	Temperatura	Densidad C/correccion	temperatura (x)	promedio de densidad C/correccion	$\alpha \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$	
1	POLI 710-10	15	0.833383				
2	POLI 710-10	15	0.833382				
3	POLI 710-10	15	0.833381				
4	POLI 710-10	15	0.833384				
5	POLI 710-10	15	0.833383	15	0.833383	-0.000752295	
1	POLI 710-10	18	0.831485				
2	POLI 710-10	18	0.831484				
3	POLI 710-10	18	0.831483				
4	POLI 710-10	18	0.831483				
5	POLI 710-10	18	0.831482	18	0.831483	-0.000736998	
1	POLI 710-10	20	0.830257				
2	POLI 710-10	20	0.830260				
3	POLI 710-10	20	0.830261				
4	POLI 710-10	20	0.830260				
5	POLI 710-10	20	0.830260	20	0.830260		
1	POLI 710-10	22	0.828997				
2	POLI 710-10	22	0.829000				
3	POLI 710-10	22	0.828999				
4	POLI 710-10	22	0.829000				
5	POLI 710-10	22	0.828999	22	0.828999	-0.00075916	
1	POLI 710-10	25	0.827144				
2	POLI 710-10	25	0.827144				
3	POLI 710-10	25	0.827140				
4	POLI 710-10	25	0.827143				
5	POLI 710-10	25	0.827142	25	0.827143	-0.000750845	
					alfa	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	-0.00075

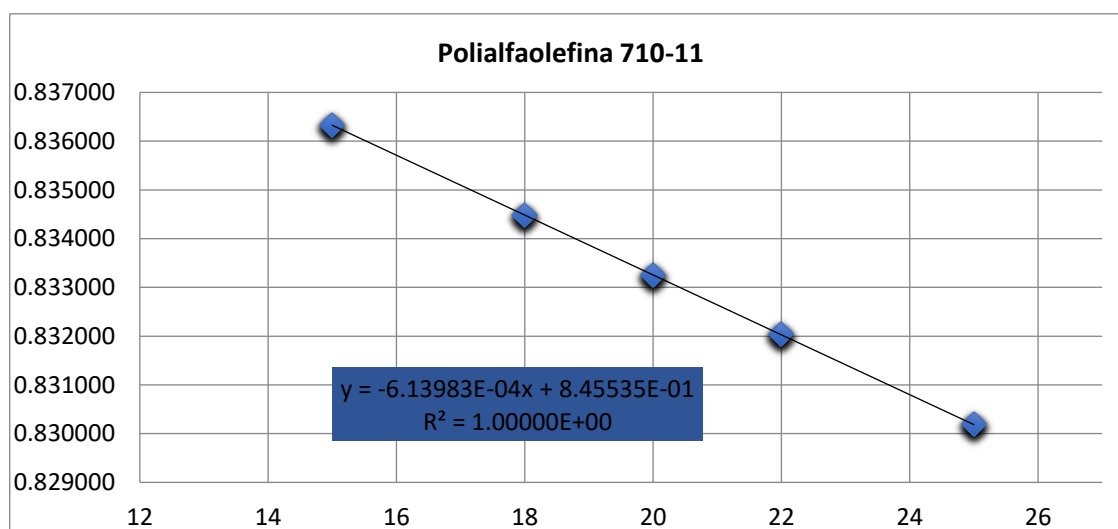


ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



TABLA 3. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}^{-1}$ DE LA POLIALFAOLEFINA 710-11

Nº	Líquido	Temperatura	Densidad C/corrección	temperatura x	promedio de densidad c/corrección	α $^{\circ}\text{C}^{-1}$
		$^{\circ}\text{C}$	g cm^{-3}			
1	POLI 710-11	15	0.836325			
2	POLI 710-11	15	0.836327			
3	POLI 710-11	15	0.836326			
4	POLI 710-11	15	0.836325			
5	POLI 710-11	15	0.836323	15	0.836325	-0.00073668
1	POLI 710-11	18	0.834481			
2	POLI 710-11	18	0.834481			
3	POLI 710-11	18	0.834482			
4	POLI 710-11	18	0.834483			
5	POLI 710-11	18	0.834483	18	0.834482	-0.00073567
1	POLI 710-11	20	0.833255			
2	POLI 710-11	20	0.833255			
3	POLI 710-11	20	0.833257			
4	POLI 710-11	20	0.833257			
5	POLI 710-11	20	0.833256	20	0.833256	
1	POLI 710-11	22	0.832029			
2	POLI 710-11	22	0.832028			
3	POLI 710-11	22	0.832028			
4	POLI 710-11	22	0.832027			
5	POLI 710-11	22	0.832028	22	0.832028	-0.00073687
1	POLI 710-11	25	0.830184			
2	POLI 710-11	25	0.830185			
3	POLI 710-11	25	0.830185			
4	POLI 710-11	25	0.830184			
5	POLI 710-11	25	0.830185	25	0.830185	-0.0007372
					alfa de $^{\circ}\text{C}^{-1}$	-0.00074

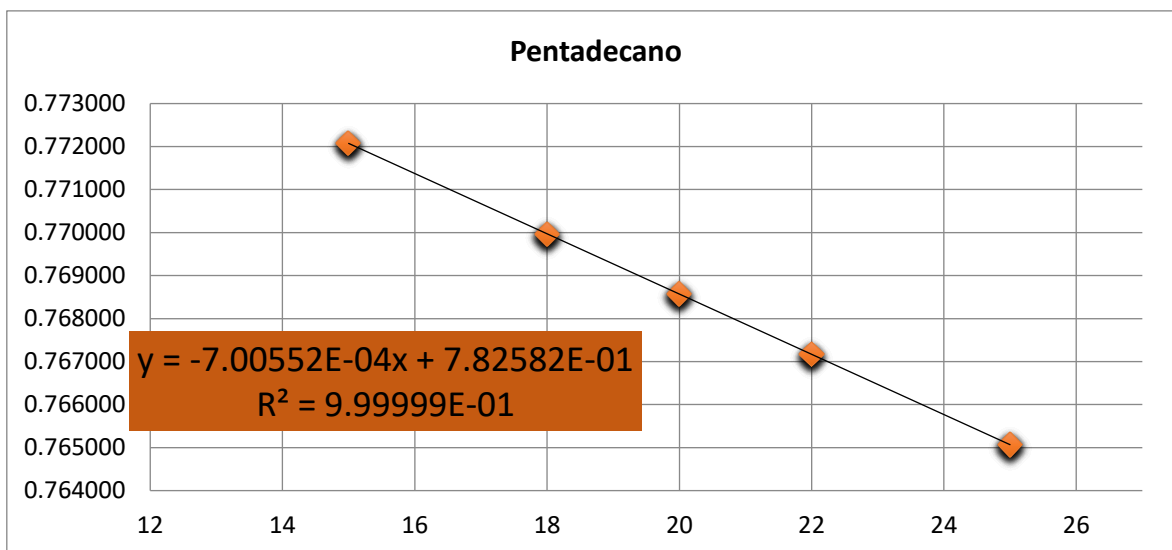


ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



TABLA 4. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}^{-1}$ DEL PENTADECANO

N°	Líquido	Temperatura	Densidad C/corrección	temperatura x	promedio de densidad c/corrección	α $^{\circ}\text{C}^{-1}$	
		$^{\circ}\text{C}$	g cm^{-3}				
1	PENTADECANO	15	0.772076				
2	PENTADECANO	15	0.772074				
3	PENTADECANO	15	0.772074				
4	PENTADECANO	15	0.772073				
5	PENTADECANO	15	0.772074	15	0.772074	-0.000910777	
1	PENTADECANO	18	0.769969				
2	PENTADECANO	18	0.769970				
3	PENTADECANO	18	0.769970				
4	PENTADECANO	18	0.769969	18	0.769969	-0.000907525	
5	PENTADECANO	18	0.769968				
1	PENTADECANO	20	0.768573				
2	PENTADECANO	20	0.768573				
3	PENTADECANO	20	0.768573				
4	PENTADECANO	20	0.768575				
5	PENTADECANO	20	0.768577	20	0.768574		
1	PENTADECANO	22	0.767166				
2	PENTADECANO	22	0.767167				
3	PENTADECANO	22	0.767168				
4	PENTADECANO	22	0.767168				
5	PENTADECANO	22	0.767167	22	0.767167	-0.000915331	
1	PENTADECANO	25	0.765068				
2	PENTADECANO	25	0.765069				
3	PENTADECANO	25	0.765068				
4	PENTADECANO	25	0.765069				
5	PENTADECANO	25	0.765069	25	0.765069	-0.000912235	
					alfa	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	-0.000911

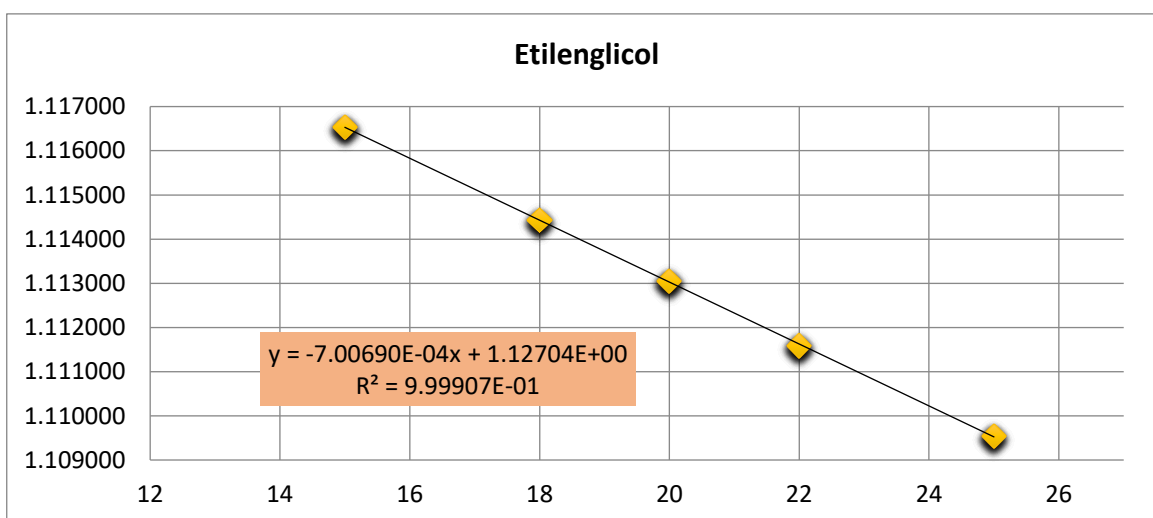


ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



TABLA 5. ALFA (α) DE TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}^{-1}$ DEL ETILENGLICOL

N°	Líquido	Temperatura	Densidad C/correccion	temperatura x	promedio de densidad c/correccion	$\alpha^{\circ}\text{C}^{-1}$
		$^{\circ}\text{C}$	g cm^{-3}			
	ETILENGLICOL	15	1.116530			
	ETILENGLICOL	15	1.116531			
	ETILENGLICOL	15	1.116529			
	ETILENGLICOL	15	1.116531			
	ETILENGLICOL	15	1.116531	15	1.116530	-0.00062603
	ETILENGLICOL	18	1.114430			
	ETILENGLICOL	18	1.114432			
	ETILENGLICOL	18	1.114435			
	ETILENGLICOL	18	1.114433			
	ETILENGLICOL	18	1.114430	18	1.114432	-0.000622436
	ETILENGLICOL	20	1.113045			
	ETILENGLICOL	20	1.113047			
	ETILENGLICOL	20	1.113047			
	ETILENGLICOL	20	1.113048			
	ETILENGLICOL	20	1.113045	20	1.113046	
	ETILENGLICOL	22	1.111579			
	ETILENGLICOL	22	1.111581			
	ETILENGLICOL	22	1.111582			
	ETILENGLICOL	22	1.111583			
	ETILENGLICOL	22	1.111585	22	1.111582	-0.000657834
	ETILENGLICOL	25	1.109540			
	ETILENGLICOL	25	1.109542			
	ETILENGLICOL	25	1.109543			
	ETILENGLICOL	25	1.109542			
	ETILENGLICOL	25	1.109545	25	1.109542	-0.000629623
					alfa $^{\circ}\text{C}^{-1}$	-0.000634



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



ALFA (α) DE VISCOSIDAD

Encontrar el Alfa (α) de viscosidad para los diferentes líquidos de medición, para conocer la viscosidad dinámica. Para ello se debe conocer los datos viscosidad (MRC), de cada uno de los líquidos, en diferentes puntos de temperatura y su coeficiente de temperatura $Uv/^\circ C^{-1}$.

NOTA: se realizó una interpolación con las temperaturas conocidas de las viscosidades de los diferentes puntos de líquidos.

$$\alpha v_{x_{1,2,3,\infty}} = \left[\frac{\mu_0}{\mu_x} - 1 \right] / [t - t_0]$$

TABLA 6. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE POLIALFAOLEFINA 710-6

polialfaolefina 706 lote:5120				
temperatura $^\circ C$	v (mm ² /s)	Densidad	viscosidad dinamica ^{mpa.s}	alfa (α) de viscosiad
20	62.38	0.821768	52.77	
21.1	59.17	0.821074	50.06	-4.67E-02
25	49.38	0.818613	41.78	-4.17E-02
alfa de viscosidad				-4.42E-02

TABLA 7. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE POLIALFAOLEFINA 710-10

polialfaolefina 710 lote:0121				
temperatura $^\circ C$	v (mm ² /s)	Densidad	viscosidad dinamica ^{mpa.s}	alfa (α) de viscosiad
23	117.75	0.828263	99.62	
25	104.79	0.827018	88.65	-5.50E-02
alfa de viscosidad				-5.50E-02



TABLA 8. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE POLIALFAOLEFINA 710-11

polialfaolefina 711 lote:5160				
temperatura °C	v (mm ² /s)	Densidad	viscosidad dinamica mpa.s	alfa (α) de viscosiad
25	196.17	0.827073	165.96	
37.8	105.45	0.819246	89.21	-3.61E-02
40	95.73	0.817901	80.99	-3.41E-02
alfa de viscosidad				-3.51E-02

TABLA 9. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE PENTADECANO

pentadecano				
temperatura °C	v (mm ² /s)	Densidad	viscosidad dinamica mpa.s	alfa (α) de viscosiad
20	3.69	0.7686600	3.12	
25	3.31	0.7651569	2.80	-2.06E-02
30	2.98	0.7616539	2.52	-1.92E-02
alfa de viscosidad				-1.99E-02

TABLA 10. ALFA (α) DE VISCOSIDAD DE ETILENGLICOL

pentadecano				
temperatura °C	v (mm ² /s)	Densidad	viscosidad dinamica mpa.s	alfa (α) de viscosiad
15	23.38	1.116683	19.78	-5.28E-02
20	18.5	1.113199	15.65	
25	14.97	1.109715	12.66	-3.82E-02
alfa de viscosidad				-4.55E-02



ERROR DE DENSIDAD POR VISCOSIDAD DEL INSTRUMENTO (EXPERIMENTAL Y TEÓRICO)

Error debido a la viscosidad del fluido

$$k \approx 0.05\sqrt{n}$$

Viscosidad (indicación del instrumento) *mpa.s*

$$\left(\frac{\text{densidad sin correccion} - \text{densidad con correccion}}{0.05} \right)^2$$

Error de viscosidad del instrumento gcm^{-3}

$$\text{densidad sin correccion} - \text{densidad con correccion}$$

Error de viscosidad teórico gcm^{-3}

$$\frac{(0.05)\sqrt{\text{viscosidad dinamica}}}{1000}$$

Diferencia de error de viscosidad del instrumento –error de viscosidad teórico

$$\text{error viscosidad instrumento} - \text{error viscosidad teorico}$$

Indicación sin/con corrección error de viscosidad

$$\text{densidad sin correccion} - \text{error de viscosidad teorico}$$

Diferencia de Indicación sin/con corrección error de viscosidad

$$\text{indicacion sin y con correccion de error de viscosidad} \\ - \text{densidad con correccion.}$$



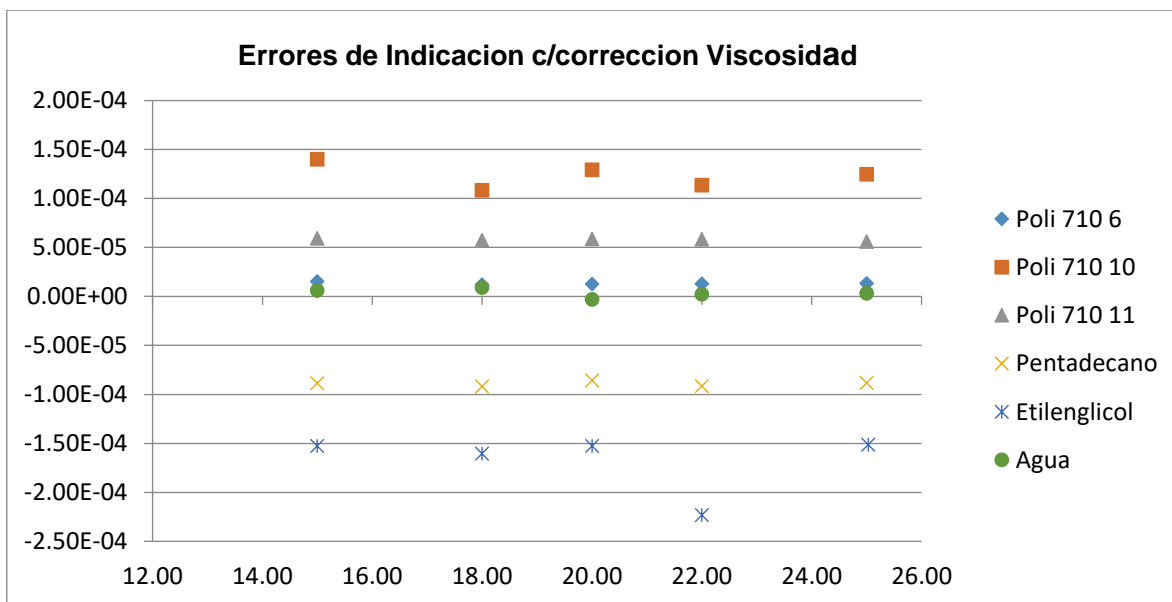
TABLA 11. MEDICION DE LOS DIFERENTES LIQUIDOS [POLIALFAOLEFINA 710-(6-10-11), PENTADECANO, ETILENGLICOL, AGUA]
TEMPERATURA 15 °C, 18°C, 20°C, 22°C, 25°C.

Material	Temp.	Visco	Densidad	Ind. c/c	Error Ind. 1	Ind. s/c	Error Ind. 2
POLI 710-6	15.00	57.36	0.824924	0.824939	1.52E-05	0.825266	3.42E-04
POLI 710-10	15.00	145.94	0.833243	0.833383	1.40E-04	0.833835	5.92E-04
POLI 710-11	15.00	183.12	0.836266	0.836325	5.93E-05	0.836874	6.08E-04
PENTADECANO	15.00	4.06	0.772163	0.772074	-8.88E-05	0.772119	-4.38E-05
ETILENGLICOL	15.00	18.03	1.116683	1.116530	-1.53E-04	1.116777	9.36E-05
AGUA	15.00	1.14	0.999100	0.999106	5.98E-06	0.999105	4.98E-06
POLI 710-6	18.00	51.13	0.823031	0.823043	1.20E-05	0.823349	3.18E-04
POLI 710-10	18.00	127.05	0.831375	0.831483	1.08E-04	0.831910	5.35E-04
POLI 710-11	18.00	166.70	0.834425	0.834482	5.73E-05	0.835008	5.83E-04
PENTADECANO	18.00	3.84	0.770061	0.769969	-9.20E-05	0.770012	-4.96E-05
ETILENGLICOL	18.00	16.03	1.114593	1.114432	-1.61E-04	1.114660	6.71E-05
AGUA	18.00	1.02	0.998595	0.998604	9.02E-06	0.998601	5.38E-06
POLI 710-6	20.00	46.98	0.821768	0.821781	1.25E-05	0.822074	3.05E-04
POLI 710-10	20.00	114.45	0.830130	0.830260	1.29E-04	0.830670	5.40E-04
POLI 710-11	20.00	155.76	0.833197	0.833256	5.88E-05	0.833766	5.69E-04
PENTADECANO	20.00	3.69	0.768660	0.768574	-8.58E-05	0.768615	-4.48E-05
ETILENGLICOL	20.00	14.69	1.113199	1.113046	-1.53E-04	1.113265	6.56E-05
AGUA	20.00	1.00	0.998204	0.998201	-3.20E-06	0.998201	-2.40E-06
POLI 710-6	22.00	42.83	0.820506	0.820519	1.27E-05	0.820796	2.90E-04
POLI 710-10	22.00	101.85	0.828885	0.828999	1.14E-04	0.829394	5.09E-04
POLI 710-11	22.00	144.82	0.831970	0.832028	5.82E-05	0.832522	5.53E-04
PENTADECANO	22.00	3.54	0.767259	0.767167	-9.15E-05	0.767207	-5.17E-05
ETILENGLICOL	22.00	13.35	1.111805	1.111582	-2.23E-04	1.111791	-1.41E-05
AGUA	22.00	0.96	0.997770	0.997772	1.97E-06	0.997769	-6.33E-07
POLI 710-6	25.00	36.60	0.818613	0.818626	1.31E-05	0.818889	2.77E-04
POLI 710-10	25.00	82.96	0.827018	0.827143	1.24E-04	0.827514	4.96E-04
POLI 710-11	25.00	128.40	0.830129	0.830185	5.61E-05	0.830655	5.27E-04
PENTADECANO	25.00	3.32	0.765157	0.765069	-8.83E-05	0.765108	-4.93E-05
ETILENGLICOL	25.03	11.33	1.109694	1.109542	-1.51E-04	1.109736	4.25E-05
AGUA	25.00	0.89	0.997044	0.997047	3.12E-06	0.997045	7.20E-07

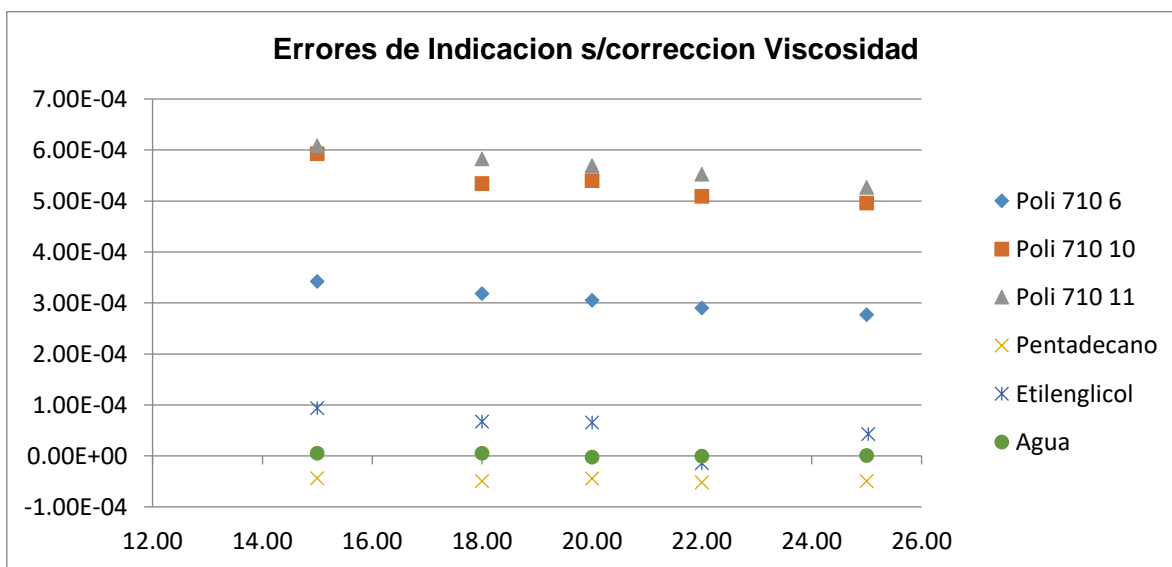
ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



GRAFICA 1. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD



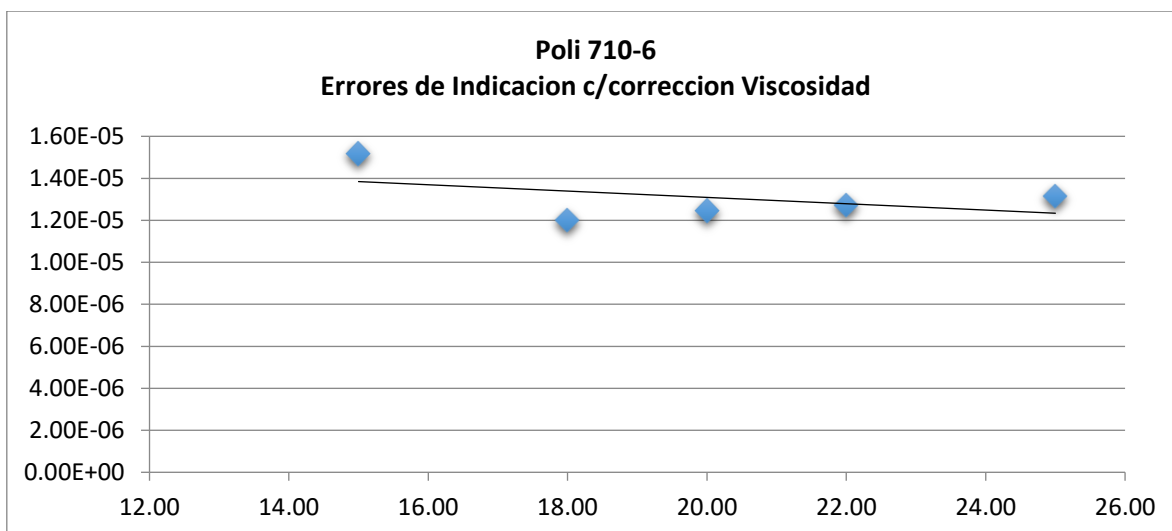
GRAFICA 2. ERROR DE INDICACIÓN S/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD



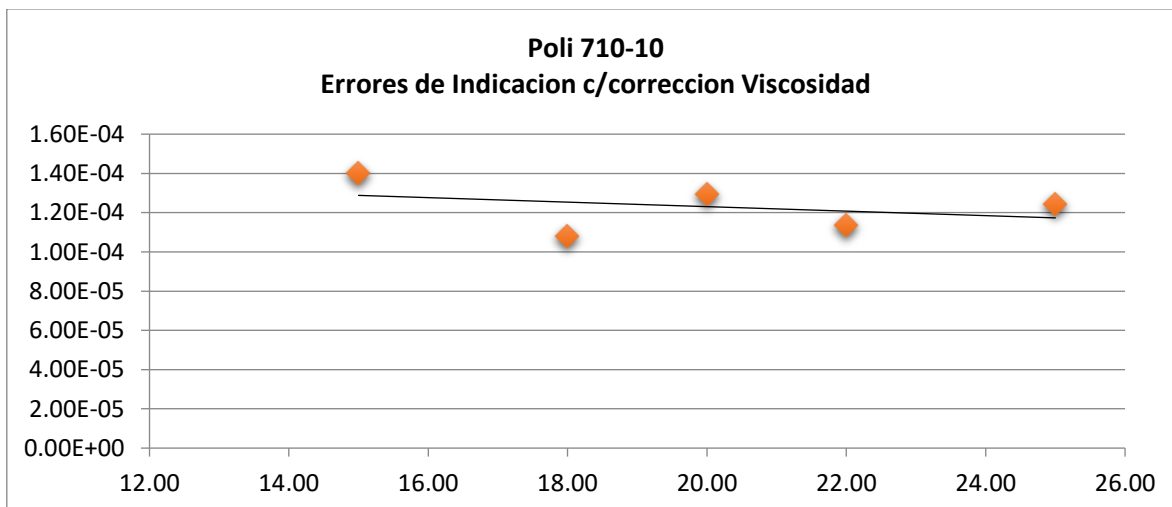
ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



GRAFICA 3. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD
POLIALFAOLEFINA 710-6



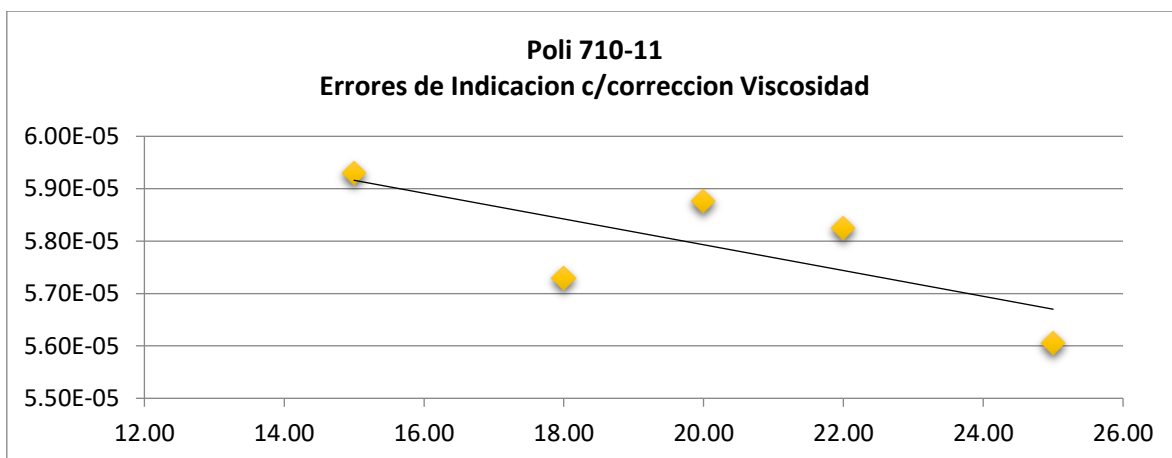
GRAFICA 4. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD
POLIALFAOLEFINA 710-10



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.

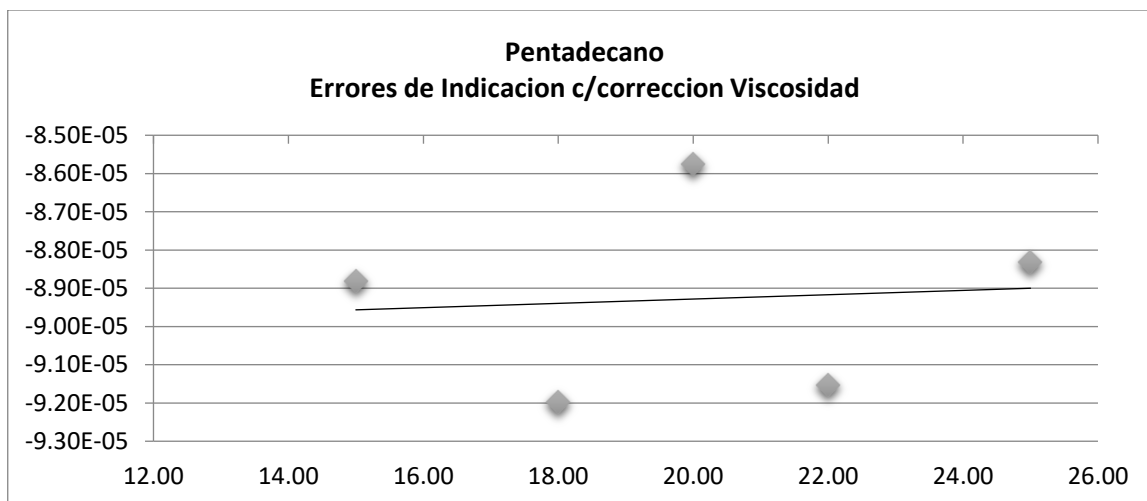


GRAFICA 5. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD POLIALFAOLEFINA 710-11

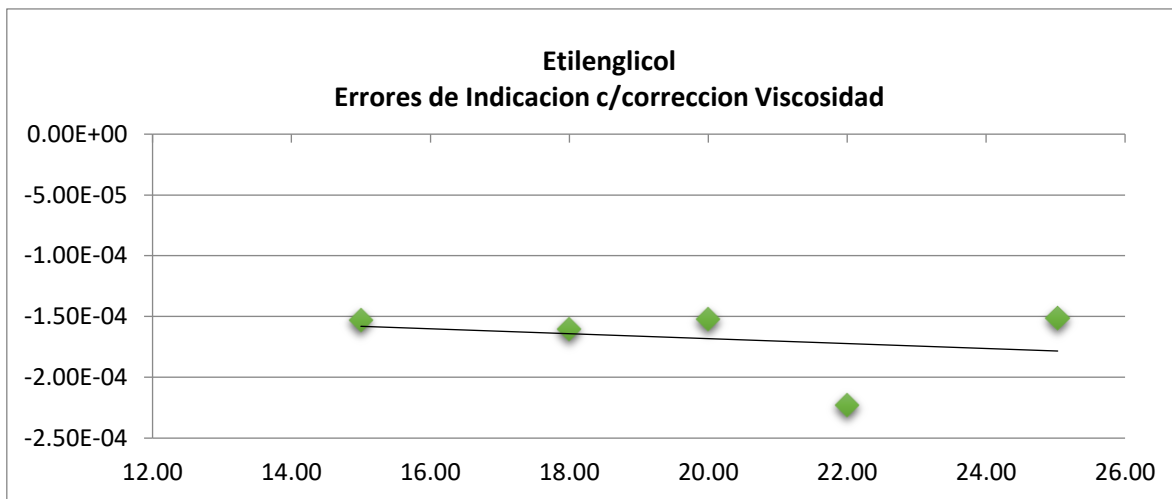


Se puede observar que, en las mediciones de densidad de las polialfaolefinas, observando las gráficas, se puede deducir que el que presenta mejor indicación de error corrección de densidad por viscosidad son las poli 710 (6,10). Que puede ser efecto porque de los tres líquidos, la poli 710-11 es de mayor densidad que por lo siguiente su viscosidad por igual.

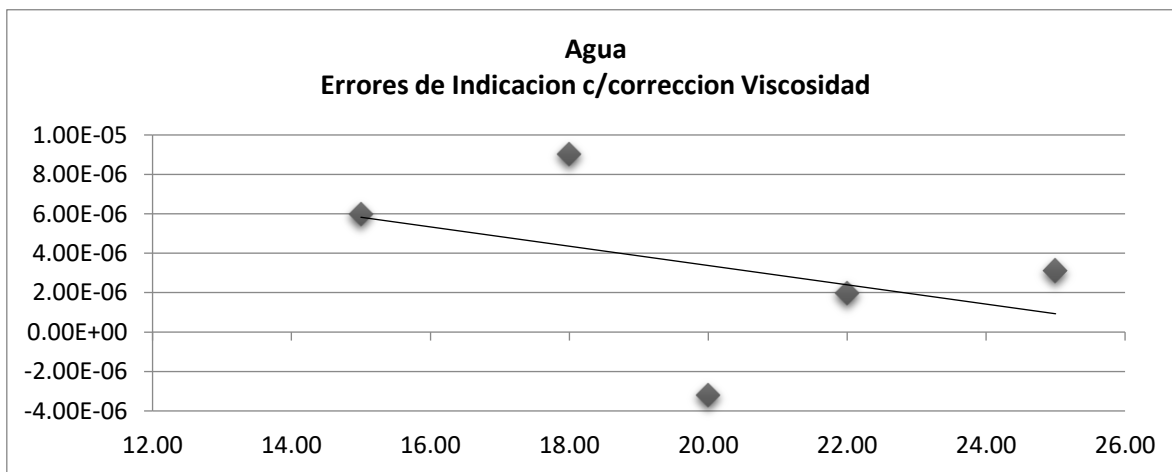
GRAFICA 6. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD PENTADECANO.



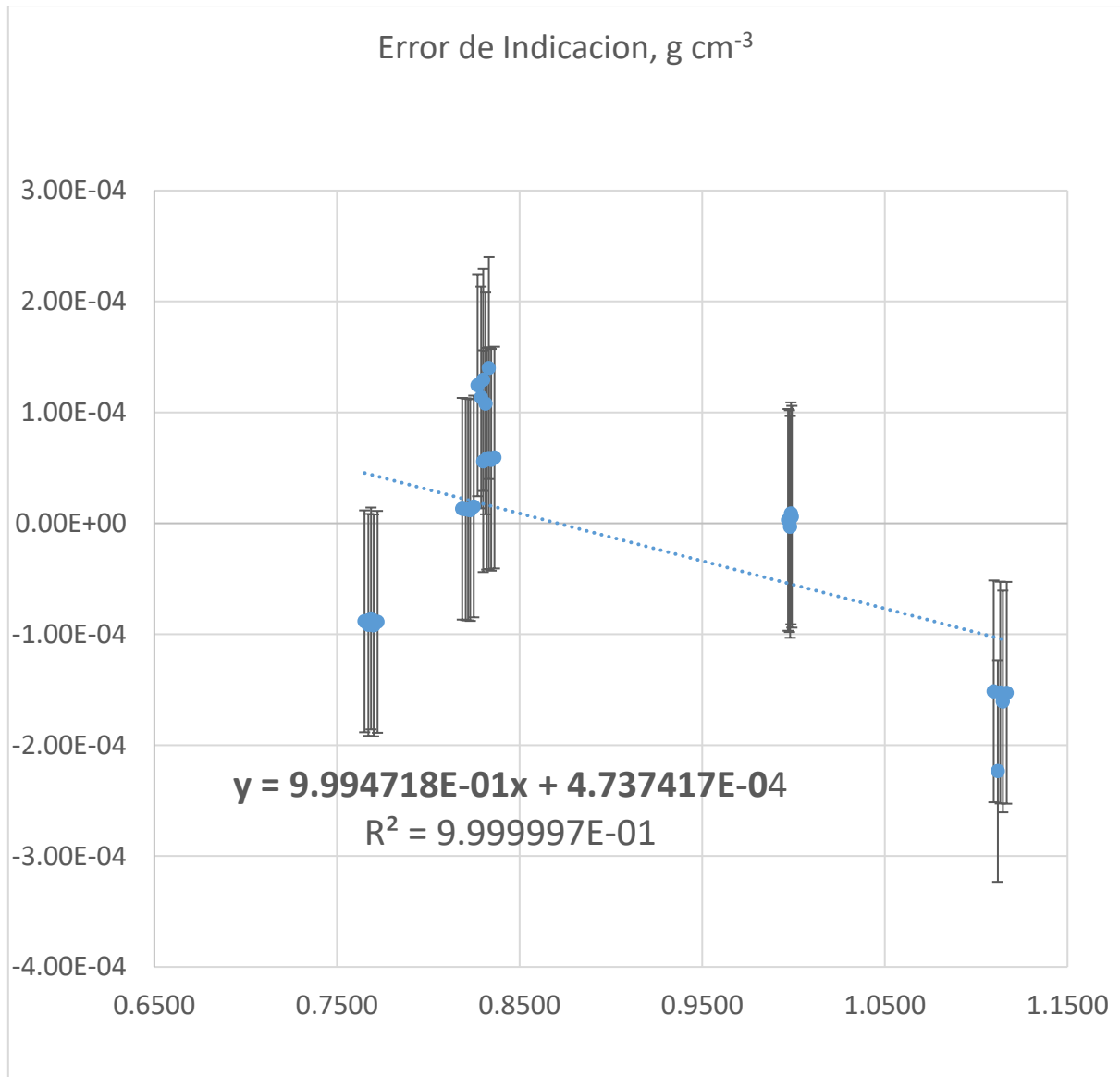
GRAFICA 7. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD ETILENGLICOL.



GRAFICA 8. ERROR DE INDICACIÓN C/CORRECCIÓN DE VISCOSIDAD ETILENGLICOL.



GRAFICA 9. ERROR DE INDICACIÓN DE DENSIDAD POR VISCOSIDAD DE TODOS LOS LIQUIDOS DE MEDICION.



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS

(CORRECCION DE VISCOSIDAD EXPERIMENTAL /TEORICA)

	Material	Temp.	Viscosidad	Ind. c/c	Ind. s/c	Correc. Viscos. Experimental
1	POLI 710-6	15.00	57.36	0.824939	0.825266	0.000327
2	POLI 710-10	15.00	145.94	0.833383	0.833835	0.000452
3	POLI 710-11	15.00	183.12	0.836325	0.836874	0.000549
4	PENTADECANO	15.00	4.06	0.772074	0.772119	0.000045
5	ETILENGLICOL	15.00	18.03	1.116530	1.116777	0.000246
6	AGUA	15.00	1.14	0.999106	0.999105	-0.000001
1	POLI 710-6	18.00	51.13	0.823043	0.823349	0.000306
2	POLI 710-10	18.00	127.05	0.831483	0.831910	0.000426
3	POLI 710-11	18.00	166.70	0.834482	0.835008	0.000526
4	PENTADECANO	18.00	3.84	0.769969	0.770012	0.000042
5	ETILENGLICOL	18.00	16.03	1.114432	1.114660	0.000228
6	AGUA	18.00	1.02	0.998604	0.998601	-0.000004
1	POLI 710-6	20.00	46.98	0.821781	0.822074	0.000293
2	POLI 710-10	20.00	114.45	0.830260	0.830670	0.000410
3	POLI 710-11	20.00	155.76	0.833256	0.833766	0.000510
4	PENTADECANO	20.00	3.69	0.768574	0.768615	0.000041
5	ETILENGLICOL	20.00	14.69	1.113046	1.113265	0.000218
6	AGUA	20.00	1.00	0.998201	0.998201	0.000001
1	POLI 710-6	22.00	42.83	0.820519	0.820796	0.000277
2	POLI 710-10	22.00	101.85	0.828999	0.829394	0.000395
3	POLI 710-11	22.00	144.82	0.832028	0.832522	0.000494
4	PENTADECANO	22.00	3.54	0.767167	0.767207	0.000040
5	ETILENGLICOL	22.00	13.35	1.111582	1.111791	0.000209
6	AGUA	22.00	0.96	0.997772	0.997769	-0.000003
1	POLI 710-6	25.00	36.60	0.818626	0.818889	0.000264
2	POLI 710-10	25.00	82.96	0.827143	0.827514	0.000371
3	POLI 710-11	25.00	128.40	0.830185	0.830655	0.000471
4	PENTADECANO	25.00	3.32	0.765069	0.765108	0.000039
5	ETILENGLICOL	25.03	11.33	1.109542	1.109736	0.000194

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



correccion experimental (ecuacion)	diferecia de corr. experimental/ ecuacion experimental
0.000354	2.70E-05
0.000459	7.07E-06
0.000588	3.95E-05
0.000059	1.38E-05
0.000172	-7.43E-05
0.000031	3.21E-05
0.000336	2.97E-05
0.000433	6.86E-06
0.000515	-1.05E-05
0.000057	1.43E-05
0.000158	-7.01E-05
0.000030	3.36E-05
0.000322	2.92E-05
0.000423	1.27E-05
0.000481	-2.90E-05
0.000055	1.44E-05
0.000148	-7.04E-05
0.000030	2.90E-05
0.000307	2.94E-05
0.000415	1.95E-05
0.000457	-3.70E-05
0.000054	1.42E-05
0.000138	-7.16E-05
0.000029	3.19E-05
0.000280	1.62E-05
0.000399	2.81E-05
0.000435	-3.62E-05
0.000052	1.29E-05
0.000122	-7.24E-05

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS EN LA INDICACIÓN DE DENSÍMETROS DE TIPO OSCILATORIO.



Correccion viscosidad Teorica	diferencia corr. viscosidad teorica / experimental
0.000379	5.17E-05
0.000604	1.52E-04
0.000677	1.28E-04
0.000101	5.57E-05
0.000212	-3.41E-05
0.000053	5.44E-05
0.000358	5.11E-05
0.000564	1.37E-04
0.000646	1.20E-04
0.000098	5.55E-05
0.000200	-2.76E-05
0.000050	5.40E-05
0.000343	4.97E-05
0.000535	1.25E-04
0.000624	1.14E-04
0.000096	5.50E-05
0.000192	-2.66E-05
0.000050	4.93E-05
0.000327	5.00E-05
0.000505	1.09E-04
0.000602	1.07E-04
0.000094	5.43E-05
0.000183	-2.65E-05
0.000049	5.15E-05
0.000303	3.89E-05
0.000455	8.42E-05
0.000567	9.58E-05
0.000091	5.21E-05
0.000168	-2.57E-05
0.000047	4.96E-05



CONCLUSION

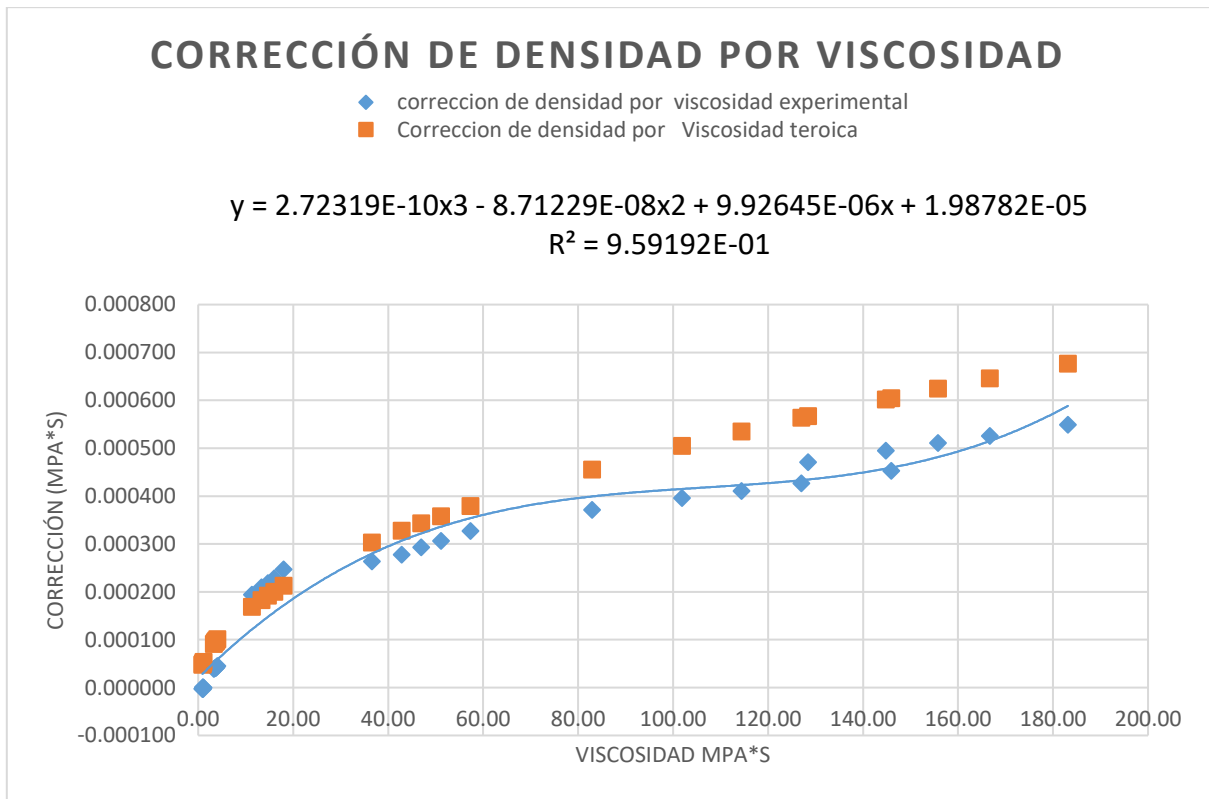
La densidad es la propiedad que nos permite medir la ligereza o pesadez de una sustancia. Que es una magnitud derivada que depende de dos magnitudes: masa y volumen. Debido a los usuarios, los densímetros de tipo oscilatorio, frecuentemente los utilizan con base a la clase de exactitud y a sus errores máximos permitidos. El principio de medición utilizado en este tipo de instrumentos consiste en la medición de la frecuencia de vibraciones mecánicas. Todos los cuerpos que poseen masa y elasticidad, son capaces de vibrar. Una vibración mecánica es el movimiento de una partícula o cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio. Realizando una combinación de los dos efectos, encontrando el amortiguamiento que está en función de la viscosidad del fluido y el ligero movimiento en los nodos de oscilación, se tiene como estudio que el equipo realiza un error de corrección de densidad por viscosidad.

$$k \approx 0.05\sqrt{n}$$

para ello se propuso realizar un estudio experimental ,en donde se planteo una selección de seis líquidos diferentes en densidades y viscosidades, (polialfaolefina (710-6-10-11), pentadecano, etilenglicol y agua) teniendo como característica una variación en cuanto a su temperatura, densidad y viscosidad , ya que el densímetro realiza un cálculo de corrección de densidad por viscosidad .uno de los principales objetivos eran llevar a cabo correctamente la calibración al inicio de realizar las mediciones con un material de referencia certificado (Agua bidestilada) utilizandolo como nuestro patrón, al igual realizar ajustes al equipo por cada cambio de sustancia con precaución en la limpieza para obtener mediciones correctas. En la obtención de los datos de medición se logra observar que los líquidos que realizaron una mejor indicación de error por corrección fueron las polialfaolefina 710-6, y etilenglicol que tienen como característica ser líquidos de bajas densidades y viscosidades,es decir que entre mas alta sea su densidad y viscosidad mayor sera su dispersión.



por lo consiguiente a base de los datos obtenidos de errores de con /sin corrección de densidad por viscosidad , se logro cumplir con el ultimo objetivo , que al graficar la ecuacion teorica $k \approx 0.05\sqrt{n}$ y la experimental encontrando como resultado una ecuacion,(grafica 10) ,nos logro indicar que entre mayor sea la viscosidad , mayor sera su error de correccion y entre menores viscosidades mejor sera su correccion que realicen los densímetros , al igual que se encontro una ecuacion que al conbinarla con otro dato de viscosidad de otro material, se puede lograr conocer su error de viscosidad .



BIBLIOGRAFÍA

1. (s.f.). Obtenido de www.cenam.mx/myd/histkg.html
2. Agustín Martín Domingo . (1997-2011). *Apuntes De Mecánica De Fluidos*. España: Copyright.
3. 2. Buenas Prácticas para Laboratorios Nacionales de Control Farmacéutico (Metrología). (202). 65.
4. 3. Centro Nacional de Metrología (Área de Metrología Mecánica). (2003). *El Sistema Internacional De Unidades* . km 4,5 Carretera Los Cués, 76241 El Marques, Querétaro, México .
5. Frank M. White. (2004). *Mecánica Fluidos*. McGraw-Hill; 2004; V Ed.
6. Gabriel Pinto, M. M.-S.-S. (2012). *Sistema Internacional de Unidades: resumen histórico y últimas propuestas* . sociedad Española de Química.
7. gravito, julio. (2007). *Metrología y mecánica de banco protocolo*. Colombia: laboratorio de producción.
8. Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio. (abril 2016). Guía técnica de trazabilidad e incertidumbre para la calibración de densímetros de tipo oscilatorio. En C. L. Luis Omar Becerra. Santiago de Querétaro Qro.
9. Gutiérrez, Luis Manuel Ramírez Muñoz-Dr. Ignacio Hernández. (el Marques, Qro. México , Centro Nacional de Metrología , julio 2014). sucesos importantes de la Metrología en México. 12.
10. *importancia de la Metrología* . (5 de octubre de 2005). Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20210/Capitulo1.pdf>
11. IRVING H. SHAMES. (3 de enero 1995). *Mecánica de fluidos* (3 edición ed.). (M. E. R., Ed., & J. G. Saldarriaga, Trad.) Colombia: Copyright © 1995, por MCGRAW-HILL INTERAMERICANA, S. A Transversal 428 No. 19-77, Santa fe de Bogotá Colombia.
12. Irving Herman Shames . (2003). *Mechanics of fluids*. McGraw-Hill 4th Ed. .
13. *La guía Metas*. (2006). Obtenido de clasificación de la Metrología: <http://www.metas.com.mx/guiamet/La-Guia-MetAs-06-06-Clasificacion-areas-Metrologia.pdf>
14. Marbán, Rocío M.; Pellecer , Julio. (202). *Metrología para no Metrologos*. Calzada Mateo Flores 5-55, Zona 3 de Mixco Guatemala, Centro América: 2001 Producción y Servicios Incorporados S.A.



15. Mecánica de Fluidos, Robert L. Moot. (2006). *Mecánica de Fluidos* (sexta edición ed.). (A. F. en idioma inglés, Trad.) México: D.R. © 2006 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
16. Mecánica de Fluidos, Frank M. White. (2004). *Mecánica Fluidos*. McGraw-Hill; 2004; V Ed.
17. Metrología de Densidad. (s.f.). *Luís Manuel Peña Pérez, Arturo Daued Mendoza, Víctor Servín Medina*. Centro Nacional de Metrología, km 4.5 carretera a los Cués, El Marqués, Querétaro.
18. Robert L. Moot. (2006). *Mecánica de Fluidos* (sexta edición ed.). (A. F. en idioma inglés, Trad.) México: D.R. © 2006 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
19. Sandoval, Héctor Nava Jaimes Félix Pezet. (Julio 2001). *El Patrón Nacional De Masa Kilogramo Prototipo N° 21*. Querétaro. Qro.: Centro Nacional de Metrología, CENAM.
20. Santiago, M. en C. Luis Omar Becerra. (2016). *Trazabilidad en las mediciones de masa*. Km 4.5 Carretera a los Cués Municipio el Marqués, Querétaro México.

