

## DESARROLLO DE MATERIALES DE REFERENCIA CERTIFICADOS EN DENSIDAD

J. Díaz<sup>1</sup>, L. Becerra<sup>1</sup>, L. Centeno<sup>1</sup>, F. Castillo<sup>2</sup>, U. Bravo<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Centro Nacional de Metrología

km4.5 carretera a los Cués, El Marqués, Querétaro.

(442) 2-11-05-00. Ext. 3538. jdiaz@cenam.mx.

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Av. Adolfo López Mateos y Av Tecnológico 1801 Ote,

C.P. 20256 Aguascalientes Ags.

**Resumen:** El uso de los materiales de referencia es de suma importancia en diversos sectores, sin embargo el número que se necesita de dichos materiales es tal que no se cuenta actualmente con los suficientes MR para cubrir todas las necesidades en todas las magnitudes y en todos los intervalos de medición. El presente trabajo muestra el desarrollo de algunos MR certificados en densidad desde su selección hasta su envasado, para esto se tomó como guía la serie de normas mexicanas NMX-CH-160-IMNC-2006 a la NMX-CH-164-IMNC-2006 y la NMX-CH-165-IMNC-2008165. El resultado fue una lista de líquidos que pueden ser usados como MR para cubrir un intervalo de  $0.7 \text{ g/cm}^3$  hasta  $1.6 \text{ g/cm}^3$  con una incertidumbre de  $2 \text{ e-}05 \text{ g/cm}^3$ , así como un procedimiento que se puede tomar como base para el desarrollo de otros materiales certificados para densidad.

### 1. INTRODUCCIÓN

El aseguramiento de la calidad de las mediciones debe tener entre otros elementos el uso de *materiales de referencia certificados*, la aplicación de métodos validados y equipos adecuados, el trabajo debe ser realizado por personal calificado y competente, asegurarse de la comparación de resultados con los obtenidos por otros laboratorios (trazabilidad e incertidumbre de medición), disponer de evidencia independiente de la capacidad técnica (ensayos de aptitud) y además emplear procedimientos bien definidos de control de calidad.

De acuerdo a la normatividad mexicana [1, 2, 3, 4, 5] podemos definir lo siguiente:

Material de referencia (MR): material o sustancia para el cual el valor de una o de varias de sus propiedades es lo suficientemente homogénea y bien establecida para ser usado en la calibración de un instrumento, la evaluación de un método de medición o para la asignación de valores a los materiales.

Material de referencia certificado (MRC): material de referencia, acompañado de un certificado, para el cual el valor de una (o de varias) de sus propiedades se ha certificado por medio de un procedimiento que establece su trazabilidad a una realización exacta de la unidad en que se expresan los valores de la propiedad y en el que cada valor

certificado se acompaña de una incertidumbre con un nivel de confianza declarado.

En la actualidad existen diversos organismos y empresas tales como: industria alimenticia, vitivinícola, refinerías, laboratorios clínicos o instituciones de educación que requieren de la utilización de algún equipo para la medición de diferentes magnitudes. Para que dichas empresas u organismos puedan efectuar una correcta verificación y/o calibración de los equipos de medición es necesario contar con algún estándar que indique la diferencia entre el valor medido y el valor de referencia con una cierta incertidumbre, esta última especificada por el usuario o por el productor de los materiales de referencia. Por tal motivo se emplean los MR para la calibración de los equipos antes mencionados.

En la norma NMX-EC-17025-2006 "Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración" se especifica en su punto 5.9 que *el laboratorio debe disponer de procedimientos de control de calidad para comprobar la validez de los ensayos y calibraciones realizados. Los datos obtenidos deben registrarse de forma que puedan detectarse tendencias y, siempre que sea posible, deben aplicarse técnicas estadísticas para analizar los resultados. Estos controles deben ser planificados y revisados, y pueden incluir, pero no estar limitados, al uso*

*habitual de materiales de referencia certificados y/o controles de calidad que empleen materiales de referencia secundarios.*

Los MRC se utilizan con el propósito de calibrar equipo de medición, para la validación de métodos de medición, y para la asignación de valores a otros materiales [1, 2, 3, 4, 5], además los MRC son usados de acuerdo a la necesidad específica y, estos pueden ser utilizados para determinar propiedades físicas y químicas, y se pueden encontrar en estado sólido, líquido o gaseoso.

El presente trabajo muestra el desarrollo y la caracterización de materiales de referencia en estado líquido que serán usados para la calibración de densímetros digitales, los cuales, tienen su aplicación en diferentes industrias que requieren de referencias en densidad y con trazabilidad a patrones nacionales.

Se pretende desarrollar y caracterizar diferentes líquidos en la magnitud de densidad para ser usados como materiales de referencia certificados que cubran valores de densidad desde  $0.7 \text{ g/cm}^3$  hasta  $1.6 \text{ g/cm}^3$  con una incertidumbre de  $2\text{e-}05 \text{ g/cm}^3$ , la cual cubre las necesidades del sector usuario.

## 2. METODOLOGÍA

Se pueden diferenciar distintos tipos de MR:

- Físicos: como pueden ser de dureza, longitud de onda, temperatura y otras propiedades físicas.
- Sustancias puras: soluciones y mezclas de alta pureza, utilizadas para la calibración en procedimientos de análisis.
- MR de matriz: materiales naturales y/o materiales naturales mezclados usados para la verificación de procedimientos analíticos y en casos específicos para la calibración de instrumentos de medición.

Los MR pueden encontrarse bajo la forma de un gas, un líquido o un sólido, puro o compuesto.

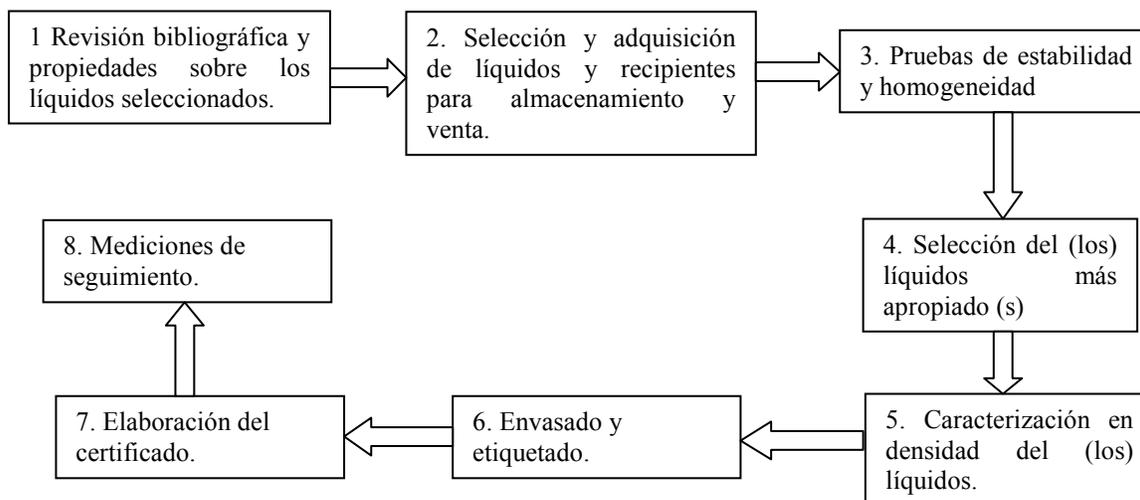
También puede tratarse de una pieza para ensayo o análisis o de un artículo manufacturado. En ocasiones necesitan de cierta preparación, como los materiales liofilizados o las disoluciones concentradas. En su selección deberán tenerse en cuenta las siguientes características:

- Incertidumbre: El valor del certificado debe ser compatible con los requisitos de precisión y exactitud de las determinaciones a realizar (calidad del método, exigencias legales o de acreditación, etc.) y ser los más próximos a los valores reales.
- Homogeneidad: El material debe ser homogéneo y de composición constante. Se debe prestar atención a los datos sobre estudios de homogeneidad que facilite el fabricante y valorar si es adecuado, teniendo en cuenta el tamaño de muestra recomendado para su uso y la precisión del método utilizado.
- Estabilidad: El material preparado debe ser estable en el tiempo, (se debe incluir la fecha de caducidad) así como permitir ser transportado sin alterar el valor certificado. El cliente debe conocer durante cuánto tiempo permanece estable desde su recepción y desde que se abre el recipiente. La estabilidad se extiende a los parámetros certificados y a la matriz.

### 2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para seleccionar los MR se compararon las especificaciones requeridas con las de los materiales disponibles en el mercado, para ello se debió:

- Consultar la información disponible en: catálogos de fabricantes, bancos de datos, publicaciones, recomendaciones, etc.
- Asegurar que el material seleccionado puede ser certificado para la magnitud o propiedad de interés y no es un valor meramente indicativo.



**Fig. 1** Diagrama para la selección y certificación de MR.

Con base en la serie de normas NMX-CH-160-IMNC-2006a la NMX-CH-164-IMNC-2006 y la NMX-CH-165-IMNC-2008 se realizó un esquema para la selección y certificación de los MR (figura 1) y se determinó la densidad de los MR en densidad que requería cubrir el CENAM, siendo éste el intervalo de  $0.7 \text{ g/cm}^3$  hasta  $1.6 \text{ g/cm}^3$ .

Así mismo se consideró la ISO 15212 1 y 2 [6,7], en ella se declaran los procedimientos y recomendaciones para la calibración de los densímetros de funcionamiento digital y se establece el uso de dos materiales de referencia por punto de calibración, uno por debajo y el otro por arriba del valor de calibración, con el propósito de generar una dependencia lineal entre los 2 MRC y con ello determinar el valor de la densidad buscado, así como su incertidumbre.

## 2.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La bibliografía referente a los diferentes líquidos se revisó para conocer los conceptos relacionados con los MR, especialmente las normas mexicanas de la serie NMX-CH-160-IMNC-2006a la NMX-CH-164-IMNC-2006 y la NMX-CH-165-IMNC-2008, además se revisaron diversos artículos internacionales referentes al tema.

La investigación de las propiedades de los líquidos se resumen en una tabla donde se colocan (entre otras) las siguientes propiedades: valor requerido de la propiedad, punto de ebullición, viscosidad, apariencia, olor, toxicidad, reactividad, así como las que se crean concernientes de acuerdo al proceso en el que van a ser empleados.

## 2.3 SELECCIÓN DE LÍQUIDOS Y CONTENEDORES.

El material candidato debe ser seleccionado con base en los siguientes parámetros:

- Valor en densidad requerido ( $\text{kg/m}^3$  ó  $\text{g/cm}^3$ ).
- Verificar la disponibilidad del material puro.
- Estado líquido.
- No volátil.
- No corrosivo.
- No genere reacción con los solventes usados para la limpieza ni con la celda de los densímetros en los que va a ser utilizado.
- No afecte a la salud.
- No higroscópico.
- No fotosensible.
- Viscosidad menor a  $1\,200 \text{ mm}^2/\text{s}$ .
- Seleccionar al menos 2 candidatos para cada punto en densidad.
- Evaluar costos y disponibilidad.

Una vez revisada la literatura con respecto a las propiedades de los líquidos se genera una lista primaria de líquidos candidatos, con los que se procede a realizar un análisis más estricto de las propiedades que debe tener el MR. En la tabla 1 se observa la lista primaria que se generó al considerar algunos líquidos candidatos a MR para densidad, dicha lista surgió a partir de la investigación bibliográfica de los valores de densidad en el intervalo requerido.

**Tabla 1.- Lista de primeros materiales candidatos.**

Líquido	Dens. a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )	Líquido	Dens. a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )
Cloro-benceno	1.11	Ac. Fosfórico	1.69
2-4 Di-cloro-tolueno	1.24	Tetracloroetileno	1.62
Glicerina	1.2	Tri-decano	0.75
Poli-etilenglicol	1.13	Dodecano	0.75
Silicona	7.3	n-Decano	0.73
Aceite p-alquilen-glicol	0.96	Di-metil-oftalato	1.19
Cera Parafínica	0.98	1-D.H.P.H.	0.83
Aceite Combustible #6	0.85	Pentadecano	0.77
Ac. de cera hidrogenado	0.97	Trietilenglicol	1.13
Aceite dentax G	1.12	n-Nonano	0.72
Esculano para síntesis	0.87	Alico 9	0.75
n-Pentano	1.8	Tetracloruro de Ca	1.59
Per-flúor-poli-éter	1.37	i-Octano	0.69
Per-flúor-alquil-éter	1.35	Ciclohexano	0.78
Mezcla de aceites	1.15	Nitrobenceno	1.19
Etanol	1.36	Bromuro de etilo	1.4
Metanol	1.01	Tetracloroetano	1.62
Etilén-glicol	1.11	Penta-cloro-etano	1.67
Agua Tipo 1	1.00	Sulfato de amonio	1.77
Oxido de calcio	1.55	Di-bromo-etano	1.08
Carburo de Calcio	2.22	Cloruro de calcio	2.16
Acido i-Butírico	1.84	Cloruro estánico	7.30

Posteriormente se analizó la lista primaria de los líquidos candidatos para eliminar los que no cubrieran las características necesarias.

Los recipientes para el almacenamiento y venta de los MR se eligen considerando el material adecuado para cada líquido, que se encuentren protegidos de la luz, el polvo, además que sean de capacidad suficiente para contener todo el lote. Esto significa que una vez que se cuente con las botellas de los líquidos, se debe vaciar el contenido en un solo contenedor y agitar la mezcla para homogeneizar. Este procedimiento se realiza con el equipo de seguridad adecuado y teniendo cuidado de no contaminar el líquido. El objetivo es tener un lote único para de él realizar el análisis de estabilidad y homogeneidad.

Las botellas para la venta deben tener las mismas consideraciones de mantener el líquido protegido de las condiciones ambientales (calor, luz, polvo), y de diferente tamaño, de acuerdo a la presentación en las que vayan a ser vendidos.

De dicha lista se analizan todas las propiedades, en primera instancia su estado físico, su punto de fusión y de ebullición; como resultado la lista primaria se reduce a la mostrada en la tabla 2.

**Tabla 2.- Lista de materiales candidatos depurada.**

Líquido	Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) @ 20 °C
i-Octano	0.69
n-Nonano	0.72
n-Decano	0.73
n-Dodecano	0.75
n-Tridecano	0.75
Alico	0.76
Pentadecano	0.769
Ciclohexano	0.78
1-D. H. H.	0.86
Etilenglicol	1.11
Agua tipo I	1.00
Trietilenglicol	1.13
Di-metil-oftalato	1.19
Glicerina	1.2
Di-cloro-tolueno	1.22
Tetracloruro de Ca	1.59
Acido Fósforico	1.69
Tetracloroetileno	1.62

En la tabla 3 se enlistan los líquidos que se seleccionaron en este proyecto para realizar las pruebas de estabilidad y homogeneidad, en base al costo, disponibilidad, volatilidad, viscosidad, reactividad y finalmente, se señalan en negritas, los líquidos que se decidió se realizaran las pruebas de densidad, en el sistema del patrón nacional.

**Tabla 3.- Lista final de materiales candidatos.**

Líquido	Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) a 20°C
i-Octano	0.69
n-Nonano	0.72
<b>n-Decano</b>	<b>0.73</b>
Pentadecano	0.77
Ciclohexano	0.77
<b>Agua tipo I</b>	<b>1.00</b>
<b>Trietilenglicol</b>	<b>1.13</b>
Etilenglicol	1.11
<b>Glicerina</b>	<b>1.26</b>
<b>Acido Fosfórico</b>	<b>1.69</b>
Tetracloroetileno	1.62

## 2.4 PRUEBAS DE ESTABILIDAD Y HOMOGENEIDAD

Se realizaron pruebas de estabilidad y homogeneidad en los densímetros de tubo vibrante, con base en las pruebas que establece la NMX-CH-165-IMNC-2008 [8]. En el laboratorio de densidad, es en donde se tiene la infraestructura para la realización de todas las pruebas, se cuenta con los densímetros digitales Anton Paar.

Para las pruebas de estabilidad se forma la matriz de muestras, envasando cada una, de cada líquido en botellas de 100 mL. Se tienen 6 muestras por líquido, de acuerdo al tiempo de estabilidad que se le va a dar a los mismos, el cual se estableció en 6 meses, con base a las pruebas de estabilidad.

La prueba de estabilidad consiste en realizar un análisis de varianza con el conjunto total de las mediciones de densidad, a cada una de las 6 muestras, realizar una prueba mediante el estadístico t de Student y llevar a cabo una regresión lineal. De esta forma se obtiene una ecuación lineal, para predecir el comportamiento del líquido con respecto al tiempo, es decir, la estabilidad a corto y a largo plazo.

La prueba de la homogeneidad se realiza con los mismos datos de las mediciones de densidad, pero, utilizando el estadístico F, para observar la variación de los resultados con respecto a las botellas y entre las botellas, de toda la matriz de muestras.

Para el análisis de los datos se realizó un programa de macros en Excel-Visual Basic denominado ProgDen, del cual se presentan las pantallas de forma cronológica, así como un diagrama de flujo general, figura 2.

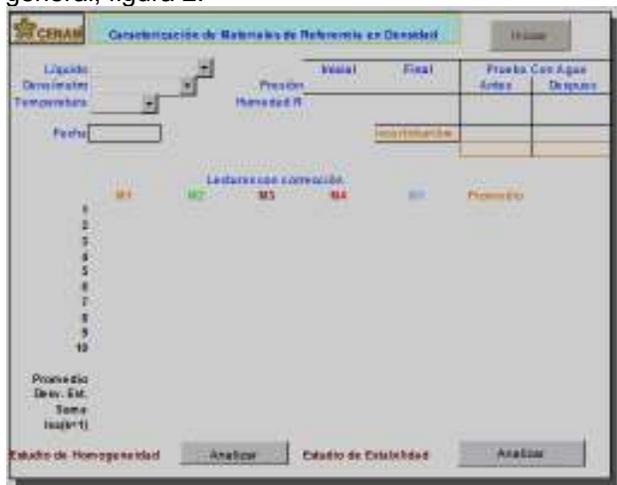


Fig. 2 Pantalla del programa ProgDen.

## 2.5 SELECCIÓN DE LOS LÍQUIDOS MÁS APROPIADOS

Una vez que se cuenta con los resultados de las pruebas de estabilidad y de homogeneidad, así como de un análisis exhaustivo de las propiedades fisicoquímicas, de un análisis económico y de la disponibilidad de los líquidos, se procede a seleccionar a los que van a ser analizados en el sistema del patrón nacional de densidad, ya que se requiere de mayor tiempo y las pruebas en dicho sistema son más costosas. Con esta última prueba se determina el valor final de densidad del material de referencia que acompaña al certificado, junto con su incertidumbre asociada.

## 2.6 CARACTERIZACIÓN EN DENSIDAD DE LOS LÍQUIDOS SELECCIONADOS

Las mediciones de densidad deben ser trazables al patrón nacional, por lo que la medición de la densidad de los líquidos seleccionados, para ser usados como materiales de referencia certificados en densidad, se deben medir con algún sólido de densidad caracterizada con trazabilidad al patrón nacional de densidad que son esferas sólidas de zerdur identificadas como Z-01 y Z-02.

Para la caracterización en densidad se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Antes de comenzar la calibración se tiene que asegurar que el patrón sólido esté perfectamente limpio, siempre que el material del sólido lo permita se podrá usar alcohol, acetona o algún otro solvente, el uso de una perilla de hule puede ser una opción para retirar la pelusa o polvo existente, así mismo, se debe evitar al máximo cualquier deterioro en la superficie del patrón.
- Después de la limpieza dejar un tiempo de ambientación de la esfera inmersa en el líquido a determinar su densidad, al menos 24 h antes de realizar las mediciones.

El método que se usa para la calibración de densidad de los MR es el de pesada hidrostática, que básicamente, consiste en determinar el empuje que tiene el líquido sobre el sólido de densidad conocida y comparar este valor contra patrones de masa. Para tal medición se utilizó el sistema automatizado del laboratorio del patrón nacional de densidad, sin embargo se desarrolló un nuevo sistema en el laboratorio de densidad [9] donde se realizan dichas mediciones.

## 2.7 ENVASADO Y ETIQUETADO

Para el caso del envasado, como lo indican las normas, se debe tener cuidado de no contaminar el líquido y éste debe ser llevado a cabo cuando se produzca un nuevo lote del material de referencia, o cuando el material de referencia sea solicitado. Para llevar a cabo la ejecución de este punto, se deben tener en cuenta varias consideraciones, las cuales se mencionan a continuación y utilizar el siguiente procedimiento:

- Verificar que el líquido solicitado se encuentre en existencia y en la presentación solicitada.
- Tomar todo el material necesario para el envasado.
- Esterilizar la botella que se utilizará para contener el líquido.
- Un embudo limpio para vaciar el líquido.
- La tapa con émbolo de teflón.
- La envoltura plástica para sellar la botella.
- La etiqueta del líquido.
- Usar guantes estériles sin talco.
- Vasos de precipitado limpios.

## 2.8 ELABORACIÓN DEL CERTIFICADO

Se cuenta con un formato para los certificados de cada MR, dicho contenido es propuesto por la NMX-CH-161-IMNC-2006 [6] y se muestran a continuación algunos puntos que debe contener el certificado:

- Nombre del cliente.
- Nombre y dirección del organismo que certifica.
- Título del documento: Certificado de Material de referencia.
- Número de certificado, único, consecutivo e identificable en todas las hojas.
- No. de Servicio.
- Nombre del material, código y número de lote. Asignados por el productor.
- Utilización prevista: Calibración de equipos, verificación de un método.
- Instrucciones de utilización.
- Información sobre aspectos de seguridad: Incluir hoja de seguridad.
- Valores certificados y sus incertidumbres.
- Trazabilidad.
- Valores obtenidos por el laboratorio.
- Fecha de certificación y periodo de estabilidad.
- Nombre y firmas de los certificadores.

- Patrón: Se menciona a los patrones utilizados incluyendo la identificación de estos, que puede incluir la marca, tipo y número de serie, su trazabilidad a las unidades del SI correspondientes.
- El equipo de medición utilizado: Se refiere al equipo que afecte directamente en el resultado de la calibración.
- Condiciones ambientales de medición.

## 2.9 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

La correcta manipulación y conservación de los materiales de referencia, especialmente cuando han sido abiertos, es de especial importancia. Las precauciones para su conservación dependerán del tipo de material, deben conservarse a temperatura ambiente, en un ambiente seco y protegidos de la luz. Durante su uso, deben ser preservados de la contaminación, manteniendo el recipiente abierto el tiempo estrictamente necesario para tomar dicho material. **Nunca se devuelve el exceso tomado al recipiente que contiene al material de referencia.**

## 2.10 MEDICIONES DE SEGUIMIENTO

Las mediciones de seguimiento deben de llevarse a cabo para mantener un control sobre los valores de referencia del material, y se debe comunicar al cliente sobre el mínimo cambio en el valor de las propiedades, éstas se realizan cada mes, para cada líquido, en el densímetro digital por el personal calificado.

Para llevar un control se aplicará la prueba t de Student con la siguiente fórmula:

$$t_x = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

Donde:

$t_x$  = Valor de t calculado.

$X_i$  = Valor de densidad a evaluar.

$\bar{X}$  = Valor de densidad promedio.

$S$  = Desviación estándar de las mediciones.

Para ello el valor de t calculado debe ser comparado con un valor de t crítico, el cual se obtiene en función del número de grados de libertad de las mediciones.

## 2.11 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

Con base en la protección al ambiente y según la normatividad correspondiente [10], los residuos se separan en frascos individuales y se colocan aquellos residuos que no reaccionan entre ellos, se disponen en un almacén especialmente diseñado para éstos y periódicamente hay una recolección de residuos peligrosos en dicho edificio, para ello se sigue el siguiente procedimiento:

- 1.- Depositar conforme se vayan generando los residuos en sus contenedores, según el líquido que sea y sus características.
- 2.- Contar con un lugar destinado para mantener los contenedores.
- 3.- Esperar a que envíen la convocatoria que indica que hay recolección de residuos peligrosos.
- 4.- Contar con la hoja de seguridad de cada uno de los líquidos que se hayan recolectado.
- 5.- Llenar un formato para su disposición, de acuerdo a los procedimientos de disposición de residuos peligrosos de CENAM.

### 3. RESULTADOS

Los líquidos que se seleccionaron con base en los resultados de las pruebas anteriores para ser analizados en densidad en el sistema del patrón nacional de densidad son:

- N-Nonano
- Tetracloroetileno
- Pentadecano
- Etilenglicol
- Ciclohexano

En el sistema del patrón nacional de densidad se realizaron al menos seis ciclos en donde cada ciclo consta de seis series (seis mediciones). Para este sistema no se midieron todos los líquidos que se utilizaron en el proyecto, sino solamente los que cumplieron con los requisitos para ser medidos en este sistema, a partir de las pruebas de estabilidad, homogeneidad, los costos, la volatilidad, y que no reaccionaran con el patrón de referencia. Los resultados de las mediciones son presentados en la tabla 4, en donde se observa el valor final de la densidad, con su valor de incertidumbre [11].

**Tabla 4.- Líquidos propuestos para MRC.**

Líquido	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Inc. (k=2) (g/cm <sup>3</sup> )
n-Nonano	0,715 996	1,0 e-06
n-Pentadecano	0,768 576	2,0 e-06
Etilenglicol	1,113 373	1,0 e-06
Ciclohexano	0,778 531	2,0 e-06
Tetracloroetileno	1,621 448	1,0 e-06

### 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de las mediciones son los que se esperaban para la generación de los nuevos MR. El proyecto se llevó a cabo de forma tal que se pueden obtener diferentes opciones para seleccionar nuevos MR, se elabora un procedimiento que facilitará la selección de nuevos MR en caso de ser necesaria. Los resultados de las mediciones y de la selección de los líquidos permiten emitir buenas conclusiones al respecto ya que la incertidumbre que se puede obtener se encuentra dentro del valor que se esperaba (2e-05 g/cm<sup>3</sup>).

Se espera que la producción de los MR pueda ser tal que satisfaga las necesidades que se tienen detectadas, para con ello fortalecer el sistema metrológico nacional otorgando la trazabilidad correspondiente.

Se propone un trabajo posterior sobre el estudio de los líquidos para mediciones de seguimiento para monitorear el comportamiento de los líquidos en el tiempo de vigencia asignado y posterior.

### 5. REFERENCIAS

- [1] NMX-CH-160-IMNC-2006 – Materiales de referencia -Términos y definiciones usados con respecto a los materiales de referencia.
- [2] NMX-CH-161-IMNC-2006 - Contenido de los certificados de los materiales de referencia.
- [3] NMX-CH-162-IMNC-2006 - Calibración del análisis químico y uso de los materiales de referencia certificados.
- [4] NMX-CH-163-IMNC-2006 – Usos de los certificados de los materiales de referencia.
- [5] NMX-CH-164-IMNC-2006 – Requerimientos Generales para la capacitación de los productores de materiales de referencia.[6]ISO

- 15212-1. Oscillation -type density meters- Part 1: Laboratory instruments.
- [7] ISO 15212-2. Oscillation -type density meters- Part 1: Process instruments for homogeneous liquids.
- [8] NMX-CH-165-IMNC-2008. Materiales de Referencia – Principios Generales y estadísticos para certificación.
- [9] Automatización del sistema de pesada hidrostática para la medición de densidad líquidos”. L. Tovar, D. Ramos, L. Becerra, J. Díaz. CENAM 2010.
- [10] NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- [11] “Caracterización de líquidos para ser usados como materiales de referencia certificados en densidad”. Díaz J. Julio, Becerra S. Luis, Centeno Luz Ma. CENAM 2006.