

COMPORTAMIENTO DEL ENSAYO DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS NAFTALENOS EN EL COMBUSTIBLE JET A-1

Ing. Jorge Enrique González Garriga ¹, Ing. Josué Medina Tápanes ², Dr. C. Olga Gómez Figueroa ³.

1. Empresa Comercializadora de Combustible. Zona Industrial Km 4,5 Versalles. [Matanzas. Cuba. OSDE CUPET.MINEM. garriga@ecmtz.cupet.cu](mailto:garriga@ecmtz.cupet.cu)
2. Empresa Comercializadora de Combustible. Zona Industrial Km 4,5 Versalles. [Matanzas. Cuba. OSDE CUPET.MINEM. josue@ecmtz.cupet.cu](mailto:josue@ecmtz.cupet.cu).
3. Universidad de Matanzas. Carretera a Varadero km 3 ½. Matanzas Cuba. olga.gomez@umcc.cu

Resumen

El control de calidad en las operaciones de combustibles y el uso racional de los recursos para este fin ha constituido una preocupación y atención de los directivos de CUPET, lo cual se refleja en el establecimiento de políticas encaminadas a elevar el desempeño de los laboratorios de combustibles. El impacto social que se genera a partir de la distribución de combustible en el país y el papel de los laboratorios que verifican su conformidad con las especificaciones, es un tema de prioridad, por lo que resulta de vital importancia aplicar herramientas de control de la calidad en la realización de ensayos para garantizar la efectividad de los mismos. El aseguramiento estadístico de la calidad y las técnicas de gráficos de control permiten evaluar el desempeño del sistema analítico del laboratorio de ensayos de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas y de esta manera garantizar la veracidad de los resultados emitidos, cumpliendo con la calidad requerida para su comercialización.

Palabras claves: Control, calidad, desempeño, precisión, combustible, sesgo.

Introducción

El combustible Jet A-1, es un destilado medio proveniente de la destilación atmosférica del petróleo crudo, con características especiales de calidad y está diseñado para utilizarse como combustible para aviones con turbinas tipo propulsión.

Aunque en la refinación de los combustibles, en especial los destinados a la aviación, los procesos son rigurosos para eliminar la mayor cantidad de compuestos indeseados mediante diferentes tipos de tratamiento es imposible su total eliminación por lo que el control de calidad mediante ensayos de laboratorio juega un papel fundamental para controlar las diferentes características de calidad en los combustibles.

La Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas (ECCM) tiene como principio ofrecer servicios de comercialización de combustible para satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes, cumpliendo con los requisitos de los mismos.

La acción de la ECCM en la Economía Nacional es fundamental si se tiene en cuenta que en ella se manipula entre un 50 y un 60% del combustible comercializado en el país anualmente. El principal mercado son las Termoeléctricas, la Unión del Cemento, la generación de electricidad por Grupos Electrógénos de Diesel y Petróleo Combustible, la Cadena de Servicentros y la red minorista.

El Laboratorio de la ECCM tiene como Misión el control de la calidad del petróleo y sus derivados mediante la prestación de servicios a las áreas de Operaciones, Calidad y Comercial de la Empresa, así como a las entidades externas que lo soliciten y para esto cuenta con personal capacitado, con formación profesional y experiencia y un Sistema de Gestión de la Calidad basado en la NC ISO/IEC 17025. Los métodos de ensayos están amparados por normas reconocidas como son: Sociedad americana para ensayo a materiales (ASTM), Instituto del petróleo (IP), Organización internacional de normalización (ISO), y Normas cubanas (NC), se realiza en la actualidad más de 70 ensayos a los productos: Petróleo Crudo, Petróleo Combustible, Diesel, Diesel Marino, Jet A-1, Gasolina de Aviación, Gasolina Motor, Queroseno, Naftas, Alcohol y Agua de Caldera.

Para el aseguramiento del control de calidad en las operaciones de la Empresa el Laboratorio de ensayos labora ininterrumpidamente las veinticuatro horas del día, los trescientos sesenta y cinco días del año y realiza alrededor de 43235 ensayos correspondientes a 11326 solicitudes anualmente.

El control de calidad en el laboratorio es un mecanismo diseñado para detectar, reducir, y corregir posibles deficiencias analíticas internas, antes de emitir un resultado. Tiene por finalidad aumentar la calidad y confiabilidad de los resultados informados.

(Juran, 1993) expresa que el control está dirigido sobre todo a alcanzar los objetivos y prevenir cualquier cambio negativo y consta de varias etapas:

- Elección del sujeto de control, es decir, seleccionar qué es lo que ha de ser regulado.
- Elección de una unidad de medida.
- Establecer un objetivo para el sujeto de control, es decir, especificar un valor que se ha de alcanzar como resultado.
- Creación de un sensor, es decir, un medio de evaluación del resultado real, indicado en la unidad de medida.
- Evaluación del resultado real.
- Interpretación de la diferencia entre resultado real y objetivo.
- Actuar sobre la diferencia.

Sobre el control estadístico de la calidad Montgomery (1998) plantea que el objetivo fundamental del control es, la reducción sistemática de la variabilidad en las características de calidad clave del producto.

Juran (1993) considera sobre el control estadístico que es una aplicación de técnicas estadísticas para la medición y análisis de las mediciones en los procesos, cuyo objetivo lo constituye el estudio y análisis de la variabilidad de los procesos.

Los esfuerzos por alcanzar estándares superiores en función de la calidad, están basados en que estos sistemas son capaces de organizar los recursos para poder alcanzar ciertos objetivos, estableciendo reglas e infraestructuras para su puesta en práctica que, si se siguen y mantienen, proporcionarían resultados deseados. (Valls, 2009)

Valls (2006) plantea que para lograr la calidad se deben cumplir los requisitos que demanda el cliente, priorizando la eficacia en el logro de ese objetivo.

El control de calidad en el laboratorio basado en la NC ASTM D 6299: 2012 de conjunto con la NC ASTM D 6792: 2011 que formarían parte del sistema de gestión de la calidad (SGC) establecido, por la NC ISO/IEC 17025: 2006 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y de calibración" dotará al laboratorio de fuertes herramientas de trabajo capaz de mantener una mayor confianza, credibilidad y competencia técnica en el control de la calidad a los combustibles involucrados en las operaciones, ya sean importaciones, exportaciones o cabotaje, permitiéndole al laboratorio poseer un sistema de trabajo basado en la mejora continua.

La NC ASTM D 6792: 2011 Práctica estandarizada para sistemas de calidad en laboratorios de ensayo de productos del petróleo y lubricantes cubre la implantación y mantenimiento de los elementos esenciales de un sistema de calidad en los laboratorios comprometidos en el análisis de productos del petróleo y lubricantes y está diseñada para ser utilizada en conjunto con la practica D 6299.

La NC ASTM D 6299: 2012 "Práctica estándar para la aplicación del aseguramiento estadístico de la calidad y técnicas de gráficos de control para evaluar el desempeño del sistema analítico de medición" es aplicable a métodos de ensayos de laboratorios y cubre la información para el diseño y operación de un programa para monitorear y controlar el comportamiento de la estabilidad y el desempeño de la precisión y el sesgo de los sistemas analíticos de medición seleccionados utilizando un conjunto de herramientas y procedimientos de control estadísticos de la calidad.

El objetivo de este trabajo es determinar mediante el control estadístico de la calidad el comportamiento del ensayo: Determinación de hidrocarburos naftalenicos en combustibles de turbina de aviación mediante espectrofotometría ultravioleta según el método de ensayos ASTM D 1840: 2013.

La importancia de monitorear el comportamiento de los naftalenos presentes en el combustible de aviación Jet A-1 es debido a que cuando queman en los sistemas de la aeronave tienden a tener una contribución relativamente mayor que otros tipos de hidrocarburos a la formación de una llama tiznada, al humo y a la radiación térmica.

Desarrollo

La metodología para la aplicación de estas herramientas de medición a partir de la información obtenida de las cartas de control según la Práctica ASTM D 6299 se resume en los siguientes pasos:

1. Recolección de datos. Si se desconoce la frecuencia mínima a aplicar las muestras de control de calidad entonces se aplica una muestra de control de calidad cada 10 muestras analizadas conforme a lo establecido en la norma NC ASTM D 6792: 2011.
2. Pretratamiento de los resultados. Los resultados acumulados de ensayos de muestras de control de calidad, aplicadas a partir de un patrón de chequeo son pretratados y analizados.
3. Construcción de un gráfico de corrida. Se realiza con los resultados ordenados cronológicamente con el objetivo de detectar patrones inusuales.

4. Chequeo de la normalidad e independencia de los datos. Se realiza con el objetivo de evaluar que los datos poseen una distribución normal.
5. Construcción del gráfico de control. Se realiza con el objetivo de poder evaluar inmediatamente si el estado del sistema de medición se encuentra en control estadístico, y poder detectar pequeños niveles de derivas constantes del sistema analítico.

Para la construcción del gráfico de control se deben cumplir con los siguientes pasos:

- Determinar la línea central al nivel de la media de los resultados (I)
 - Determinar los límites de control superior e inferior (LCS y LCI)
 - Determinar los límites de alerta superior e inferior (LAS y LAI)
 - Determinar la media móvil exponencialmente ponderada (MMEP)
 - Determinar los límites de control superior e inferior para la media móvil exponencialmente ponderada (LCS_{MMEP} y LCI_{MMEP})
6. Determinar la precisión in situ.
 7. Determinar si los resultados son sesgados mediante una prueba t Student. Se realiza sobre los resultados de ensayos pretratados para verificar el sesgo relativo al valor de referencia aceptado.
 8. Realizar prueba Chi cuadrado. Se realiza con el objetivo de comparar el estimado de la precisión in situ con el valor de reproducibilidad publicado por el método de ensayo.
 9. Determinar la razón de precisión e índice de desempeño. Se realiza con el objetivo de ajustar la frecuencia mínima de muestras de control de calidad.

Resultados y Análisis.

Los datos para la realización de este trabajo se obtuvieron al analizar un material de referencia certificado (MRC) con un valor de 2,35% cada 10 muestras analizadas empleando el método de ensayo ASTM D 1840, este método cubre la determinación del contenido de hidrocarburos naftalenos en combustible Jet A-1.

Los resultados obtenidos de concentración de hidrocarburos naftalenos analizando el material de referencia se muestran en tabla 1.

Tabla 1. Resultados de análisis al MRC

No de orden	Resultado del Patrón de Chequeo (Yi)	Valor de Referencia Aceptado (VRA=Xi)
1	2,39	2,35
2	2,37	2,35
3	2,38	2,35
4	2,33	2,35
5	2,36	2,35
6	2,32	2,35
7	2,35	2,35
8	2,37	2,35
9	2,37	2,35
10	2,35	2,35
11	2,31	2,35
12	2,34	2,35
13	2,33	2,35
14	2,38	2,35
15	2,37	2,35
16	2,36	2,35
17	2,36	2,35
18	2,36	2,35
19	2,37	2,35
20	2,38	2,35
21	2,37	2,35
22	2,36	2,35

El pretratamiento de los resultados se realiza aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Resultado Pretratado} = \text{Resultado de ensayo} - \text{VRA}$$

Donde:

VRA. Es el valor de referencia aceptado para la muestra patrón de chequeo

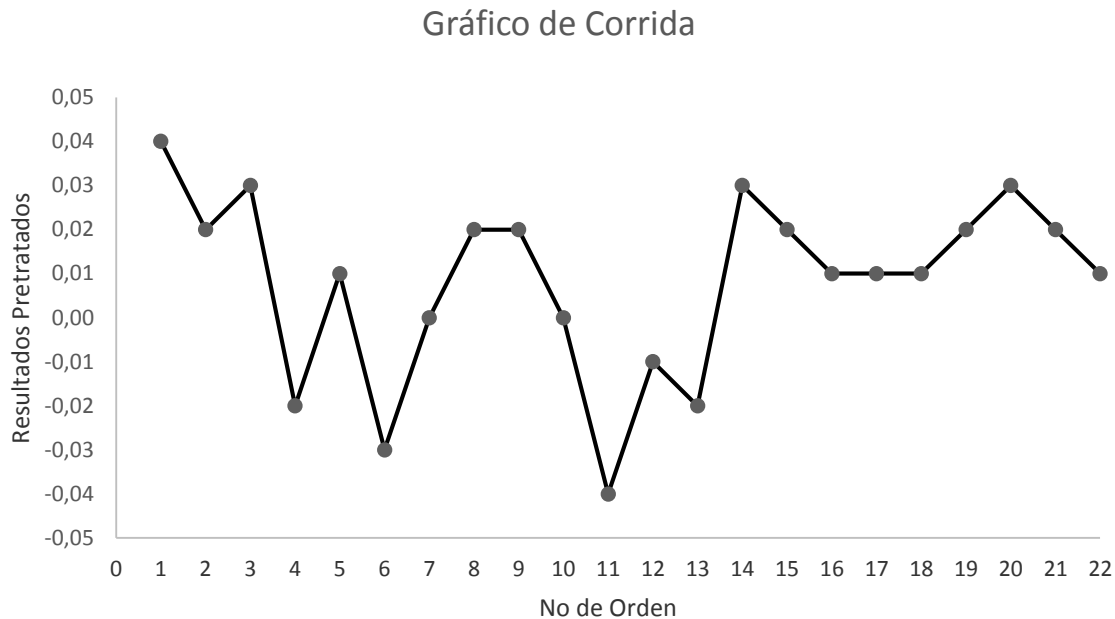
Los datos obtenidos del pretratamiento de los resultados se muestran en tabla 2.

Tabla 2. Datos con resultados pretratados.

No de orden	Resultado del Patrón de Chequeo (Yi)	Valor de Referencia Aceptado (VRA=Xi)	Diferencia Resultado - VRA (li)
1	2,39	2,35	0,04
2	2,37	2,35	0,02
3	2,38	2,35	0,03
4	2,33	2,35	-0,02
5	2,36	2,35	0,01
6	2,32	2,35	-0,03
7	2,35	2,35	0,00
8	2,37	2,35	0,02
9	2,37	2,35	0,02
10	2,35	2,35	0,00
11	2,31	2,35	-0,04
12	2,34	2,35	-0,01
13	2,33	2,35	-0,02
14	2,38	2,35	0,03
15	2,37	2,35	0,02
16	2,36	2,35	0,01
17	2,36	2,35	0,01
18	2,36	2,35	0,01
19	2,37	2,35	0,02
20	2,38	2,35	0,03
21	2,37	2,35	0,02
22	2,36	2,35	0,01

A partir de los resultados pretratados se procede a la construcción de un gráfico de corrida en orden cronológico, para determinar la existencia de patrones inusuales.

Figura 1. Gráfico de corrida



Para el chequeo de la normalidad e independencia de los datos se utiliza el estadígrafo Anderson-Darling.

El estadígrafo Anderson-Darling es una prueba no paramétrica donde los datos de una muestra provienen de una distribución específica. Cuando se aplica para probar si una distribución normal describe adecuadamente un conjunto de datos, es una de las herramientas estadísticas más potentes para la detección de la mayoría de las desviaciones de la normalidad.

Primeramente, se ordenan los datos de forma ascendente y se obtiene la variable estandarizada de los valores de X_i mediante la ecuación:

$$w_i = \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)$$

Donde:

Xi. Resultado de la medición

\bar{X} . Promedio de los resultados

S. Desviación estándar de los resultados

La desviación estándar de los resultados se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S_I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

Donde:

Ii. Resultado de la medición

\bar{I} . Promedio de los resultados

n. Grados de libertad.

$S_I = 0,021$

Los valores de la variable estandarizada (w_i) se convierten a valores de probabilidad estándar normal acumulada (P_i), utilizando la tabla de probabilidad acumulativa para la variable normal estandarizada según figura A1.5 de la NC-ASTM D 6299:2012.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resultados de w_i y P_i

Resultados Ordenados	w_i	P_i
-0,04	-2,31	0,0104
-0,03	-1,83	0,0336
-0,02	-1,35	0,0885
-0,02	-1,35	0,0885
-0,01	-0,87	0,1922
0	-0,39	0,3483
0	-0,39	0,3483
0,01	0,09	0,5359

0,01	0,09	0,5359
0,01	0,09	0,5359
0,01	0,09	0,5359
0,01	0,09	0,5359
0,02	0,57	0,7157
0,02	0,57	0,7157
0,02	0,57	0,7157
0,02	0,57	0,7157
0,02	0,57	0,7157
0,02	0,57	0,7157
0,03	1,05	0,8531
0,03	1,05	0,8531
0,03	1,05	0,8531
0,04	1,53	0,937

Con los resultados de la tabla 3 se calcula A^2 como:

$$A^2 = - \frac{\sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln(\rho_i) + \ln(1 - \rho_{n+1-i})]}{n} - n$$

$$A^2 = 0,807$$

Se calcula A^{2*} como:

$$A^{2*} = A^2 \left(1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2} \right)$$

$$A^{2*} = 0,839$$

Donde A^{2*} es el estadígrafo Anderson-Darling

El cálculo del estadígrafo Anderson-Darling arrojó un resultado igual a 0,839. Si el resultado es menor que uno es interpretado que el conjunto de datos es normal e independiente por lo que se puede proceder a la construcción del gráfico de control.

El cálculo de la precisión in situ (R') se realiza a través de la fórmula de la raíz del cuadrado medio para la desviación estándar de la precisión in situ ($\sigma_{R'}$)

$$\sigma_{R'} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma_{R'} = 0,021$$

$$R' = 2.77 \times \sigma_{R'} = 0,058$$

Donde:

\bar{I} . Promedio de los resultados

I_i . Resultados

n. Grados de libertad.

Para la construcción de los gráficos de control se procede a determinar la línea central al nivel de la media de los resultados (\bar{I}), los límites de control superior e inferior (LCS y LCI), los límites de alerta superior e inferior (LAS y LAI), la media móvil exponencialmente ponderada (MMEP) y los límites de control superior e inferior para la media móvil exponencialmente ponderada (LCSMMEP y LCIMMEP).

La línea central al nivel de la media se calcula por la expresión.

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

Los límites de control superior e inferior son adicionados, indicando los límites dentro de los cuales alrededor del 99,7% de todos los resultados de medición distribuidos normalmente son esperados que caigan si la variabilidad del sistema de medición es debido solamente a errores aleatorios.

Un error aleatorio es un error inevitable que se produce por eventos únicos imposibles de controlar durante el proceso de medición.

Adicionalmente los límites de alertas superior e inferior son añadidos para indicar los límites dentro de los cuales se espera que caigan alrededor del 95% de todos los datos distribuidos normalmente.

Estos límites son calculados por las siguientes expresiones.

$$LCS = \bar{I} + 3\sigma_{R'}$$

$$LCI = \bar{I} - 3\sigma_{R'}$$

$$LAS = \bar{I} + 2\sigma_R$$

$$LAI = \bar{I} - 2\sigma_R$$

Donde:

\bar{I} . Promedio de los resultados.

σ_R . Desviación estándar de la precisión in situ.

Si los valores individuales del sistema de medición se encuentran fuera de los límites de control superior o inferior son una fuerte indicación de que el sistema está fuera de control por lo que hasta que las causas de estas derivas no hayan sido encontradas y corregidas los resultados del sistema de medición deben ser considerados sospechosos.

Para la detección de pequeñas derivas constantes en comparación con la precisión del sistema de medición se utiliza la estrategia de la media móvil exponencialmente ponderada y sus límites de control asociados.

La media móvil exponencialmente ponderada superpuesta es una línea de tendencias construidas de valores de la MMEP calculados usando los valores de los resultados. Cada valor de la MMEP es un promedio ponderado del resultado actual y de los resultados previos.

Cuando la MMEP excede sus límites de control será interpretado como una fuerte señal que ha ocurrido probablemente un cambio en el estado del sistema de medición.

La media móvil exponencialmente ponderada (MMEP) y sus límites de control superior e inferior (LCS_{MMEP} y LCI_{MMEP}) se calculan mediante las siguientes expresiones.

$$MMEP_i = I_i$$

$$MMEP_i = (1 - \lambda)MMEP_{i-1} + \lambda I_i$$

$$LCS_{MMEP} = I + 3\sigma_R \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}}$$

$$LCI_{MMEP} = I - 3\sigma_{R'} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$$

Donde:

λ Factor de ponderación exponencial igual a 0.4

Los resultados de los límites de control superior e inferior (LCS y LCI), los límites de alerta superior e inferior (LAS y LAI), la media móvil exponencialmente ponderada (MMEP) y los límites de control superior e inferior para la media móvil exponencialmente ponderada (LCS_{MMEP} y LCI_{MMEP}) se muestran en la siguiente tabla.

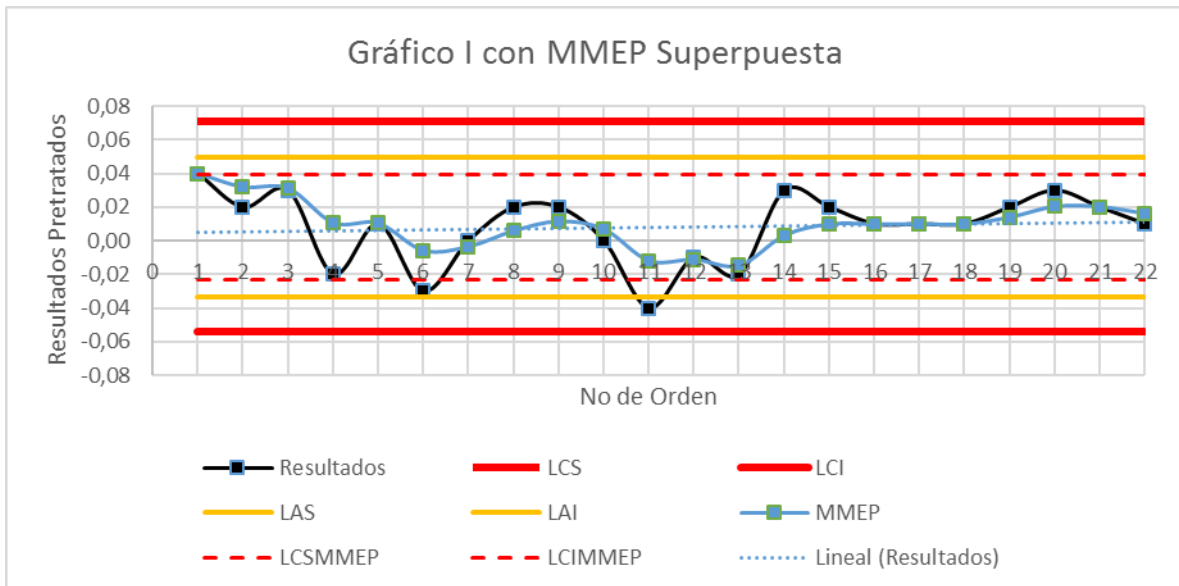
Tabla 4. Resultados de LCS, LCI, LAS, LAI, MMEP, LCS_{MMEP} y LCI_{MMEP}

LCS	LCI	LAS	LAI	MMEP	LCS _{MMEP}	LCI _{MMEP}
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,04	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,03	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,03	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	-0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,00	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	-0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	-0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	-0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,00	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,01	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,02	0,04	-0,02
0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,02	0,04	-0,02

0,07	-0,05	0,05	-0,03	0,02	0,04	-0,02
------	-------	------	-------	------	------	-------

A partir de los resultados obtenidos en tabla 4 se procede a la construcción de un gráfico de control con la media móvil exponencialmente ponderada superpuesta.

Figura 2. Gráfico de control con MMEP superpuesta.



Se realiza una prueba t Student sobre los resultados pretratados para verificar el sesgo relativo al valor de referencia aceptado.

El valor t se calcula mediante la expresión.

$$t = \frac{\sqrt{n}|\bar{I}_i - \mu_0|}{S_1}$$

Donde:

μ_0 Es la media hipotética, la cual es cero.

t = 1,8408

El valor de t calculado se compara con el valor de t crítico para n-1 grados de libertad de la tabla A1.1 de la NC-ASTM D 6299:2012.

$$t \text{ crítica} = 2,0796$$

Si t calculada es menor que la t crítica entonces no existe sesgo estadísticamente significativo.

Se realiza una prueba Chi cuadrado para comparar el estimado de la precisión in situ con el valor de reproducibilidad publicado por el método de ensayo.

Esta prueba se realiza mediante la expresión.

$$X^2 = \frac{(n - 1)R'^2}{R^2}$$

R' Es la precisión in situ.

R Es la reproducibilidad publicada por el método de ensayo ASTM D 1840 igual a 0,157.

$$X^2 = 0,0009$$

El valor de X calculado se compara con el valor de X crítico para n-1 grados de libertad de la tabla A1.11 de la NC-ASTM D 6299:2012.

$$X^2 \text{ crítica} = 32,7$$

Si X² calculada es menor que la X² crítica entonces la precisión in situ es estadísticamente indistinguible a la reproducibilidad publicada por el método de ensayo.

A partir de la evaluación realizada para el ensayo de hidrocarburos naftalenos se procede a determinar el índice de desempeño (IDE) y la razón de precisión (RP) para con estos resultados determinar utilizando la Tabla 1 de la NC ASTM D 6792:2011 la frecuencia mínima de muestras de control de calidad.

La razón de precisión (RP), es un estimado de una magnitud relativa de la repetibilidad y la reproducibilidad. La RP para un método de ensayo normalizado puede proporcionar información relacionada con la variación significativa causada por diferentes operadores y laboratorios comparados con un único operador en un laboratorio en la ejecución de un método de ensayo normalizado.

Un método de ensayo con RP igual o mayor que 4 exhibe una diferencia significativa entre repetibilidad y reproducibilidad.

El índice de desempeño del método de ensayo (IDE), es una medida aproximada de la capacidad de ensayo del laboratorio, definida como la razón entre la reproducibilidad del método de ensayo y la precisión intermedia.

El cálculo del índice de desempeño y la razón de precisión se realiza por las siguientes expresiones.

IDE = Reproducibilidad del método/ Precisión interna

Razón de precisión= R/r

Donde.

R. Es la reproducibilidad publicada por el método de ensayos ASTM D 1840, igual a 0,157

r. Es la repetibilidad publicada por el método de ensayos ASTM D 1840, igual a 0,094

IDE = 0,157/0,058

IDE = 2,7

RP = 0,157/0,094

RP = 1,7

Tabla 1. NC ASTM D 6792: 2011. Frecuencia mínima de muestras de control de calidad como función del índice de desempeño del ensayo.

IDE para métodos de ensayos con RP <4	IDE para métodos d ensayos con RP>4	Frecuencia nominal de CC (una muestra de CC por cada X muestra) Valores de X	Por ciento aproximado de muestra de CC /total de análisis
No determinado	No determinado	10	9
<0,8	<1,6	10	9
0,8-1,2	1,6-2,4	20	5
1,2-2,0	2,4-4,0	35	3
>2,0	>4,0	40	2

Aplicando los resultados obtenidos de razón de precisión e índice de desempeño se aplica según tabla 1 de la NC ASTM D 6792: 2011 cada 40 muestras 1 muestra de control de calidad.

Conclusiones

El sistema se encuentra en control estadístico y es estable ya que se observa en el gráfico de control que tanto los resultados de ensayos a muestras de control de calidad como los valores de la media móvil exponencialmente ponderada no exceden los límites de control establecidos.

Los resultados de ensayos no son sesgados con respecto al valor de referencia aceptado del material de referencia certificado.

La precisión in situ es estadísticamente insignificante respecto a la reproducibilidad publicada por el método de ensayo.

El método de ensayo utilizado en este trabajo no exhibe diferencia significativa entre repetibilidad y reproducibilidad debido a que la razón de precisión es menor que 4.

El desempeño del laboratorio para método de ensayo utilizado en este trabajo es satisfactorio al determinar que el índice de desempeño del método de ensayos es igual a 2.7.

Se determina la frecuencia de muestras de control de calidad por muestras analizadas en función del índice de desempeño del ensayo.

Bibliografía.

JURAN, J.M. Manual de Control de Calidad. España: Edición. McGraw-Hill, 1993.

MONTGOMERY DOUGLAS C.. Control estadístico de la calidad. Ed CIS, Grupo Editorial Iberoamérica. Parte II, 1998.

NORMA CUBANA ASTM D 6299. Práctica estándar para la aplicación del aseguramiento estadístico de la calidad y técnicas de gráficos de control para evaluar el desempeño del sistema analítico de medición, 2012.

NORMA CUBANA ASTM D 6792: Práctica estandarizada para sistemas de calidad en laboratorios de ensayo de productos del petróleo y lubricantes, 2011.

NORMA CUBANA ISO/IEC 17025: Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de calibración, 2017

PÉREZ CAMPAÑA, L. Calidad logística. En busca de Mayor Competitividad, [en línea]. Disponible en: <http://www.tecnipublicaciones.com>. [Citado el 13 de marzo 2016]

VALLS FIGUEROA, W. (). Procedimientos para la evaluación, análisis y diagnóstico de la calidad en destinos turísticos de sol y playa. Matanzas, Cuba. 100h. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", 2006.

VALLS FIGUEROA, W. La calidad, su importancia, significado, evolución y tendencias actuales. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba, (2009