

Proposal and Validation of Alternative Method to Determine Vapor Pressure in Gasoholes

Williams Ramos, Eng.^{1,2}, Katty Atoche², José Gamarra², Diego Morales², Geanbraydi Hurtado²,
Victor Pretell, MSc.^{1,2}.

¹Grupo de Investigación en Procesos Termoquímicos - Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica -
Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, wramos@fip.uni.edu.pe, vpretell@fip.uni.edu.pe

²Escuela Profesional de Ingeniería Petroquímica - Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica - Universidad
Nacional de Ingeniería, Perú, katochec@fip.uni.edu.pe, jgamarrar@fip.uni.edu.pe, dmoralesr@fip.uni.edu.pe,
ghurtadop@fip.uni.edu.pe

Abstract– The research work consists of obtaining an alternative method to determine the vapor pressure in gasoholes using a Vernier brand pressure sensor. Said method is an alternative proposal to the standardized method to determine the Vapor Reid Pressure (PVR) of the American Society for Testing and Materials (ASTM) established in the ASTM D323 Standard. The PVR is a physicochemical property that must be determined to demonstrate compliance with the technical specifications on gasohols and for these to be marketed in Peru. Therefore, a mathematical model was generated that relates the vapor pressure measured with the Vernier sensor (PVV) with the PVR, this method was validated by testing it at the temperature of 310.95 K (37.8 ° C). Likewise, an economic evaluation was made about the cost of the equipment for both methods and the cost of implementing the alternative method compared to the cost of the service in a testing laboratory. It was concluded that the alternative method has a 0.4% relative error compared to the ASTM D323 method. The alternative method was shown to be repeatable, linear, and accurate, as well as cheaper than the ASTM D323 method.

Keywords– Quality, gasohol, Reid vapor pressure, physicochemical properties, liquid fuel.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.72>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development” “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy”, 27-31 July 2020, Virtual Edition.

Propuesta y Validación de Método Alternativo para Determinar la Presión de Vapor en Gasoholes

Williams Ramos, Eng.^{1,2}, Katty Atoche², José Gamarra², Diego Morales², Geanbraydi Hurtado², Victor Pretell, MSc.^{1,2}.

¹Grupo de Investigación en Procesos Termoquímicos - Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica - Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, wramos@fip.uni.edu.pe, vpretell@fip.uni.edu.pe

²Escuela Profesional de Ingeniería Petroquímica - Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica - Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, katochec@fip.uni.edu.pe, jgamarrar@fip.uni.edu.pe, dmoralesr@fip.uni.edu.pe, ghurtadop@fip.uni.edu.pe

Resumen– El trabajo de investigación consiste en la obtención de un método alternativo para determinar la presión de vapor en gasoholes utilizando un sensor de presión de la marca Vernier. Dicho método es una propuesta alternativa al método estandarizado para determinar la Presión de Vapor Reid (PVR) de la American Society for Testing and Materials (ASTM) establecida en la Norma ASTM D323. La PVR es una propiedad fisicoquímica que debe ser determinada para evidenciar el cumplimiento de las especificaciones técnicas en gasoholes y para que estos puedan ser comercializados en Perú. Por lo cual se generó un modelo matemático que relaciona la presión de vapor medida con el sensor Vernier (PVV) con la PVR, se validó dicho método probándolo a la temperatura de 310.95 K (37.8°C). Asimismo, se realizó una evaluación económica acerca del costo de los equipos para ambos métodos y el costo de implementación del método alternativo comparado al costo del servicio en un laboratorio de ensayos. Se concluyó que el método alternativo tiene un 0.4% de error relativo comparado con el método ASTM D323. Se demostró que el método alternativo es repetible, lineal y preciso, y asimismo, más económico que el método ASTM D323.

Palabras claves– Calidad, gasohol, presión de vapor Reid, propiedades fisicoquímicas, combustible líquido.

Abstract– The research work consists of obtaining an alternative method to determine the vapor pressure in gasoholes using a Vernier brand pressure sensor. Said method is an alternative proposal to the standardized method to determine the Vapor Reid Pressure (PVR) of the American Society for Testing and Materials (ASTM) established in the ASTM D323 Standard. The PVR is a physicochemical property that must be determined to demonstrate compliance with the technical specifications on gasohols and for these to be marketed in Peru. Therefore, a mathematical model was generated that relates the vapor pressure measured with the Vernier sensor (PVV) with the PVR, this method was validated by testing it at the temperature of 310.95 K (37.8 °C). Likewise, an economic evaluation was made about the cost of the equipment for both methods and the cost of implementing the alternative method compared to the cost of the service in a testing laboratory. It was concluded that the alternative method has a 0.4% relative error compared to the ASTM D323 method. The alternative method was shown to be repeatable, linear, and accurate, as well as cheaper than the ASTM D323 method.

Keywords– Quality, gasohol, Reid vapor pressure, physicochemical properties, liquid fuel.

I. INTRODUCCIÓN

La principal fuente de energía para el transporte en el Perú y en el mundo son los combustibles fósiles. Existen muchos tipos de combustibles fósiles, algunos de ellos son el Gas Natural (GN), Gas Licuado del Petróleo (GLP), Diésel y gasolinas [1]. Las gasolinas han sido desde sus inicios uno de los principales combustibles fósiles, siendo en el Perú el segundo combustible más usado luego del Diesel, pues forman parte del inicio de la nueva generación de combustibles para motor [2]. En el Perú la gasolina que se vende está constituida en un 7.8% de alcohol etílico o etanol y el resto de gasolina de 97, 95, 90, 84 octanos, el nombre que recibe dicha mezcla de gasolina y etanol es gasohol [3]. Una de las principales propiedades fisicoquímicas para determinar la calidad de un gasohol es la presión de vapor.

Se denomina presión de vapor de un líquido volátil a la presión de la fase vapor que se genera a una temperatura determinada, en la que ambas fases (líquido y vapor) están en equilibrio. Es necesario referirla a una cierta temperatura porque la presión de vapor depende mucho de esta variable.

La ecuación de Clausius-Clayperon es fundamental en el estudio de las transiciones de fase en sustancias puras. Esta ecuación proporciona la pendiente de la curva de coexistencia de dos fases en equilibrio, dando una relación entre la presión de vapor y la temperatura, dicha ecuación se muestra en (1) [4].

$$\frac{dP}{P} = d \ln(P) = \frac{\Delta_{vap} \bar{H} dT}{RT^2}. \quad (1)$$

Donde $\Delta_{vap} \bar{H}$ es el calor latente o entalpia específica de evaporización, dT es el diferencial de Temperatura, T es la

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.72>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

temperatura (K), R la constante universal de los gases ideales y P la presión.

La ley de Raoult permite calcular la presión de vapor de una sustancia cuando está forma parte de una mezcla ideal, conociendo la presión de vapor de cada uno de los componentes puros (a la misma temperatura) y la composición de la disolución ideal en términos de fracción molar [5], dicha ecuación se muestra en (2).

$$P_a = X_a P_a^\circ \quad (2)$$

Donde P_a es la presión de vapor parcial del componente "a" en la mezcla, x_a es la fracción molar del componente "a" y P_a° es la presión de vapor de "a" puro. La presión de vapor total es la suma de las presiones de vapor parciales de todos los componentes de la mezcla.

Tanto en la ecuación de Clausius-Clayperon como en la Ley de Raoult hay una relación directa entre el logaritmo natural de la presión de vapor y la inversa de la temperatura [6], [7].

Asimismo, la presión de vapor influye en el valor del octanaje pues esta permite que se facilite alcanzar las condiciones para que el motor se encienda en distintos contextos. Cuando uno gira la llave para prender el vehículo, la gasolina entra en el cilindro en forma de vapor. Mientras más frío esté el motor, la gasolina demorará más en mezclarse con el aire, de manera que se genere una unión inflamable [8]. Este último aspecto es importante considerarlo para efectos de la seguridad durante el proceso de transporte y almacenamiento del combustible.

La presión de vapor de los derivados de petróleo como la gasolina es medida bajo normas estandarizadas, en este caso la norma más utilizada es la propuesta por la American Society for Testing and Materials (ASTM) mediante el Método de prueba estándar para la presión de vapor de productos derivados del petróleo, bajo la norma ASTM D323 conocida como Método Reid.

El método ASTM D323 determina un valor de presión de vapor conocido como presión de vapor Reid (PVR) la cual se determina a 310.95 K (37.8 °C) y se reporta en unidades absolutas de presión (en kPa o Psi). Asimismo, difiere un poco del valor real de la presión de vapor del combustible, dado a que en esta medición hay presencia de vapor de agua y aire en el espacio confinado [9]. En el Perú la PVR se encuentra como un parámetro a medir dentro de la especificación de calidad de los gasoholes según establece la Resolución Ministerial N° 515-2009-MEM/DM del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) [10]. Asimismo, el método ASTM D323 nos brinda un método fiable para verificar la calidad de los gasoholes, pero su costo de implementación es elevado y requiere mucha cantidad de muestra para su aplicación (entre 700 mL a 800 mL).

En nuestro país, organismos como la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT) supervisan la comercialización de los derivados de

Petróleo en su calidad de productos fiscalizados como indica el Decreto Supremo N° 348-2015-EF, estas fiscalizaciones muchas veces se realizan en ubicaciones remotas y aisladas como cisternas, consumidores directos, entre otros; sin contar con la facilidad de un laboratorio de análisis cercano [11]–[13]. Actualmente se están investigando métodos alternativos al ASTM D323, que sean más económicos, que requieran menos cantidad de muestra y puedan ser utilizados en el lugar de toma de la muestra [9].

El trabajo de investigación consiste en la propuesta y posterior validación de un método alternativo para determinar la Presión de Vapor Reid (PVR) en gasoholes, para esto se determinará la PVR y la presión de vapor con un sensor de presión de la marca Vernier, a la cual llamaremos Presión de Vapor Vernier (PVV), dichas mediciones se realizarán a diferentes temperaturas, se tomarán los resultados con los cuales se construirá un modelo matemático para relacionar los valores de PVV y PVR, finalmente el modelo será validado comparándolo con los resultados experimentales a $T= 310.95$ K. Asimismo se realizará una evaluación económica comparando el costo de implementar ambos métodos.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

A. Muestra de gasohol 90

La muestra por analizar fueron dos galones de gasohol 90 (90 de octanaje) adquiridos en una Estación de Servicio de la Marca Repsol, ubicada en la Av. Tupac Amaru N°1453 en el distrito de Independencia, cerca de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Dicha muestra fue almacenada en una galonera plástica y se mantuvo refrigerada hasta antes de su aplicación en los ensayos de laboratorio.

B. Determinación de la PVR por el método ASTM D323 a diferentes temperaturas

Se determinó la PVR en kPa por el procedimiento establecido en la norma ASTM D323-15b (Método de prueba estándar para la presión de vapor de productos derivados del petróleo (Método Reid)), pero a diferencia de lo que se menciona en el método ASTM D323 (trabajar a un temperatura de 310.95 K), se modificó la temperatura del baño y se tomó datos de la PVR en 303.2, 308.2, 313.2, 318.2 y 323.2 K, para tener la información necesaria y generar un modelo matemático. En la Fig. 1 se muestra el equipo utilizado.



Fig. 1 Equipo para la determinación de la PVR por el método ASTM D323

Para los experimentos se empleó un baño isotérmico de la marca Precision Scientific. Que cuenta con un controlador de temperatura de la Marca Autonics, asimismo se usó para el experimento una cámara de líquidos, una cámara de gases y un manómetro de la marca Ashcroft. Se realizó el experimento tres veces para cada temperatura, para de esta forma asegurar la repetibilidad de los resultados.

C. Determinación de la PVV por el método alternativo a diferentes temperaturas

Para el procedimiento del método alternativo se utilizó un sensor de presión de la marca Vernier, dicho sensor puede ser aplicado para cualquier líquido volátil teniendo en cuenta los diferentes rangos de presión, ya que, al ser un equipo de tipo educativo, es mayormente aplicado a alcoholes [14].

Se verificó en el manual de uso, las especificaciones técnicas del sensor de presión Vernier, las cuales se indican en la Tabla I. Con la cual se verificó su posible uso en gasoholes, ya que la presión máxima tolerable es de 405 kPa, muy por encima de los gasoholes comerciales [3].

TABLA I
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DE PRESIÓN VERNIER

Parámetro	Valor /Rango de Aplicación
Rango de presión	0 a 210 kPa (0 a 2.1 atm o 0 a 1600 mmHg)
Presión máxima que el sensor puede tolerar sin daños permanentes	405 kPa
Exactitud mediante calibración de fábrica	± 4 kPa
Precisión mediante la calibración personalizada de un punto en la atmósfera	± 3 kPa
Tiempo de respuesta	10 ms
Volumen Interno	0.8 mL

El método alternativo con el sensor de presión Vernier consiste en agregar el gasohol (5 mL por ensayo) a un matraz Erlenmeyer. El líquido se evaporó en el aire por encima de él en el recipiente. Finalmente, se alcanzó el equilibrio entre la velocidad de evaporación y la velocidad de condensación. En este punto, la presión de vapor del líquido es igual a la presión parcial de su vapor en el matraz. Se utilizó un sensor de presión y un sensor de temperatura para determinar la presión de vapor del gasohol. El equipo experimental para determinar la PVV se muestra en la Fig. 2.

Para los experimentos se utilizaron temperaturas de 303.2, 308.2, 313.2, 318.2 y 323.2 K y se registró la información de la PVV. Se realizó el experimento tres veces para cada temperatura, y de esta forma asegurar la repetibilidad de los resultados. Para llevar el equipo experimental a las diferentes temperaturas de la matriz experimental y recolectar la información suficiente para la creación de un modelo matemático, fue necesario el uso de baños de hielo (para poder disminuir la temperatura) y del uso de un calentador (para poder aumentar la temperatura) como se muestra en la Fig. 3.

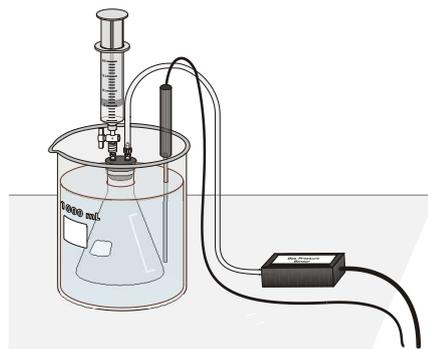


Fig. 2 Equipo experimental para la determinación de la PVV



Fig. 3 Toma de datos de la PVV mediante el equipo experimental para el método alternativo.

Los datos fueron registrados continuamente en una laptop con el Software Logger Pro instalado. Este es un software de análisis y recopilación de datos de la empresa Vernier [15]. En caso no se cuente con una laptop con el software Logger Pro, se puede utilizar el equipo LabQuest 2, que es un registrador portátil de Vernier. La ventaja de usar el LabQuest 2 es que no es necesario contar con el software ni con una laptop, así mismo puede ser usado en lugares remotos de fácil acceso debido a que es muy compacto y puede ser transportado fácilmente como se muestra en la Figura 3 [16].

D. Generación del modelo matemático

Con los datos tomados para la PVR mediante el método ASTM D323 y la PVV mediante el método alternativo, se generó un modelo matemático que relaciona la PVR (obtenido mediante la ASTM D323) como variable dependiente con la PVV (obtenido mediante el método alternativo) y la temperatura de operación como variables independientes. Dichos datos fueron introducidos al software TableCurve3D (versión de prueba) para la generación de un modelo matemático donde las variables se relacionen.

Una vez que se haya generado y validado el modelo matemático con los datos obtenidos, ya no será necesario el baño de hielo o el calentador para cambiar la temperatura del sistema, ya que se podrá medir la presión de vapor a la

temperatura ambiente e introducir el resultado dentro de la ecuación del modelo.

E. Evaluación económica de la implementación de los métodos

Se realizó una evaluación económica para comparar los precios de los equipos necesarios para la implementación del método ASTM D323 y del método alternativo. Para ello se cotizó equipos e implementos y se comparó dichos valores.

III. RESULTADOS

A. Resultados de la PVR por el método ASTM D323 a diferentes temperaturas

Se realizó el procedimiento establecido por el método ASTM D323 a diferentes temperaturas, dichas temperaturas fueron 303.2, 308.2, 313.2, 318.2 y 323.2 K. Los resultados se muestran en la Tabla II y son el promedio de los datos adquiridos.

TABLA II
PRESIÓN DE VAPOR REID (ASTM D323) A DIFERENTES TEMPERATURAS

Temperatura (K)	PVR (kPa)
303.2	34.475
308.2	44.815
313.2	53.085
318.2	58.605
323.2	68.945

B. Resultados de PVV por método alternativo a diferentes temperaturas

Se realizó el procedimiento establecido por el método alternativo con el sensor de presión Vernier a diferentes temperaturas, dichas temperaturas fueron 303.2, 308.2, 313.2, 318.2 y 323.2 K. Los resultados se muestran en la Tabla III.

TABLA III
PRESIÓN DE VAPOR POR EL MÉTODO ALTERNATIVO A DIFERENTES TEMPERATURAS

Temperatura (K)	PVV (kPa)
303.2	15.975
308.2	23.975
313.2	31.275
318.2	43.175
323.2	54.675

C. Resultados del modelo matemático

Los datos experimentales obtenidos fueron introducidos en el software TableCurve 3D (versión de prueba) para la generación de un modelo matemático que relacione los datos obtenidos para ambos métodos. Los datos introducidos para la generación del modelo se presentan en la Tabla IV.

TABLA IV
DATOS INTRODUCIDOS AL SOFTWARE PARA LA GENERACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Temperatura (°K)	PVV (kPa)	PVR (kPa)
303.2	15.975	34.475
308.2	23.975	44.815
313.2	31.275	53.085
318.2	43.175	58.605
323.2	54.675	68.945

Luego de introducir los datos al software y evaluarlos en el TableCurve3D, el software señaló que existe una superficie que más se ajusta a dichos datos, obteniendo un buen ajuste de superficie (donde el $R^2 \approx 1$), la ecuación matemática de dicha superficie se muestra en (3).

$$PVR = -1067.927 + 0.5843831T \times \ln T + \frac{2922.9149}{PVV} - 23751.604(PVV)^2 \quad (3)$$

Donde PVR es la Presión de Vapor Reid en kPa, T es la temperatura en K y PVV es la Presión de Vapor usando el sensor Vernier en kPa. Asimismo, se generó la gráfica de superficie del modelo matemático mediante regresión múltiple utilizando el software TableCurve3D (versión de prueba). Dicha gráfica se presenta en la Fig. 4.

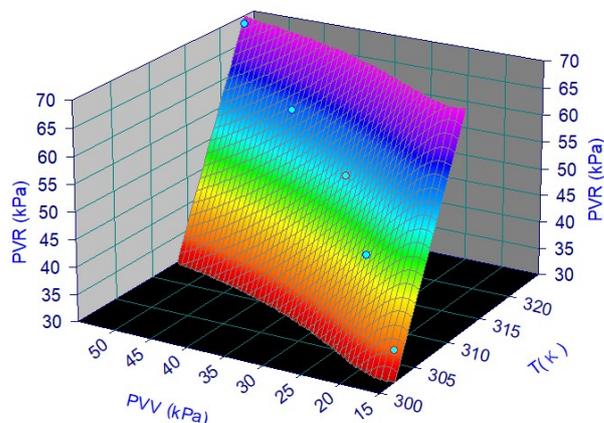


Fig. 4 Superficie del modelo matemático obtenida mediante regresión múltiple

D. Resultados de la evaluación económica de la implementación de los métodos

Se realizó una evaluación económica para comparar los precios de los equipos necesarios para la implementación del método ASTM D323 comparado con el método alternativo [16]–[19]. En la Tabla V se resume el análisis de costos de equipos para la implementación de los métodos ASTM D323

y del método alternativo. Se aprecia que el costo de implementar el método alternativo es casi diez veces menos que implementar el método ASTM D323.

TABLA V
COSTO DE LOS EQUIPOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO ASTM D323 Y EL MÉTODO ALTERNATIVO

Método ASTM D323		Método Alternativo	
Equipo total (incluido baño, manómetro, cámara de líquidos y cámara de gases)	\$6000	Matraz Erlenmeyer 250 mL	\$4
		Sensor de Presión de Gas - Vernier	\$106
		Sensor de Temperatura - Vernier	\$36
		Vaso de Precipitado	\$4
		LABQUEST 2	\$455
Costo Total (ASTM D323)	\$6000	Costo Total (Método Alternativo)	\$605

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Discusión de los resultados de la PVR por el método ASTM D323 y la PVV por el método alternativo.

Se validó los datos experimentales mostrados en la Tabla II utilizando el software MS Excel, para lo cual se generó una gráfica de los datos de $\ln(PVR)$ vs $1/T$ y se ajustó a una ecuación lineal, se observó que dichos datos de presión del gasohol cumplen con el comportamiento de la ecuación de Clausius-Clapeyron y la ley de Raoult (tendencia lineal), ya que los valores de R^2 de la ecuación generada son cercanos a 1 ($R^2=0.9769$), por lo tanto, validamos que las presiones obtenidas en nuestros experimentos representan a la presión de vapor del gasohol de 90 octanos como se muestran en la Fig. 5.

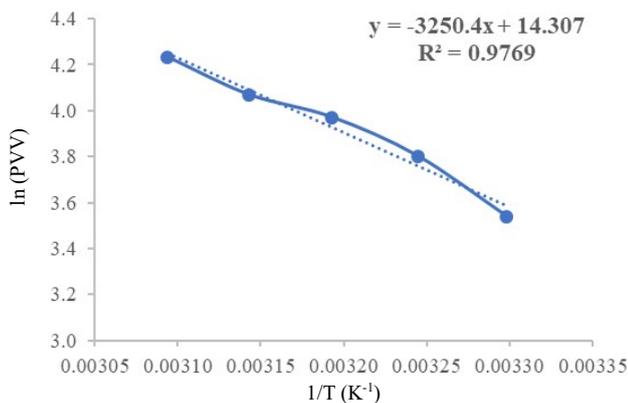


Fig. 5 Gráfica de validación de los resultados de la PVR por método ASTM D323

De igual forma que los resultados del método ASTM D323, se validó los datos experimentales obtenidos en el método alternativo, se generó una gráfica de $\ln(PVR)$ vs $1/T$ y se ajustó a una ecuación lineal, se observó que dichos datos de presión del gasohol cumplen con el comportamiento de la

ecuación de Clausius-Clapeyron y la ley de Raoult (tendencia lineal), ya que los valores de R^2 de la ecuación generada son cercanos a 1 ($R^2= 0.9944$), por lo tanto, validamos que las presiones de vapor obtenidas en nuestros experimentos representan a la presión de vapor del gasohol como se muestran en la Fig. 6.

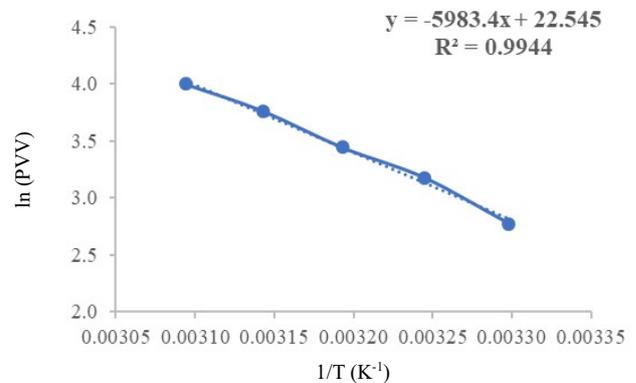


Fig. 6 Gráfica de validación de los resultados de PVV por método alternativo

De los resultados mostrados se puede observar que a mayor temperatura existe una mayor presión de vapor. Esto debido que a mayor temperatura cierto grupo de moléculas del líquido adquieren suficiente energía cinética para pasar a la fase vapor, y esto aumenta con la temperatura, aumentando la presión en el proceso [5].

Asimismo, se observa que los resultados obtenidos cumplen con el comportamiento establecido por la ecuación de Clausius-Clapeyron y la ley de Raoult, ya que al graficar $\ln(P)$ vs $1/T$ se observa un comportamiento lineal descendente como se menciona en las referencias [5], [6].

B. Discusión de resultado del modelo matemático

La ecuación matemática del modelo generado mostrado en (3) se validó a la temperatura de 310.95 K (temperatura en la cual trabaja el método ASTM D323), en la tabla IV se muestra la comparación de los resultados experimentales con el valor esperado, hallado por el modelo matemático.

TABLA VI
RESULTADO EXPERIMENTAL Y RESULTADO ESPERADO DEL MODELO MATEMÁTICO A LA TEMPERATURA DE 310.95 K

Experimento / Modelo	Valor
Resultado Experimental (Método Alternativo) PVV (kPa)	28.875
Resultado Experimental (ASTM D323) PVR (kPa)	47.975
Resultado Esperado (Modelo Matemático) PVR (kPa)	47.783

De la Tabla VI se pueden observar valores muy cercanos entre el resultado experimental de PVR por el Método ASTM D323 y el resultado esperado del PVR obtenido por el modelo matemático, demostrando la precisión del método alternativo.

En la Tabla VII se muestran el error absoluto y el error relativo de dichos resultados.

TABLA VII
ERROR DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTAL Y ESPERADO DE LA PVR

Tipo de Error	Valor
Error absoluto (kPa)	0.192
Error relativo (%)	0.4

Con lo que se puede afirmar que el método alternativo presenta linealidad, así como un bajo error absoluto y relativo. Ya que el método tiene un error relativo menor a 1% se puede considerarse un método preciso.

C. Discusión del resultado de la evaluación económica

Se realizó el análisis del costo de implementación del Método Alternativo frente a realizar el servicio de análisis por un laboratorio tercerizado, por lo que se consultó el precio por realizar el servicio de análisis en un laboratorio de ensayos de petróleo y derivados. En este caso se consultó al Centro de Certificación, Inspección y Ensayos de Productos Petroleros, Gas Natural y Derivados (CERTIPETRO) ubicado en el Pabellón D1 de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). El costo por el servicio del ensayo de una muestra bajó el procedimiento de la norma ASTM D323 es de 150 soles (no incluye impuestos), asimismo la remuneración de un analista junior es de 1800 soles.

Los datos proporcionados fueron procesados utilizando el software MS Excel y la función Solver, de esta forma se encontró la cantidad mínima de ensayos que necesitaríamos realizar para justificar la implementación del método alternativo en nuestro propio laboratorio, se estima que, si se planea realizar 26 ensayos al mes en un laboratorio tercerizado, el costo de análisis de todos los ensayos en ese mes equivaldría al mismo costo de implementación del método alternativo.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que se logró validar experimentalmente el método alternativo por ser repetible, lineal y preciso (usando el sensor de presión Vernier) a la temperatura de 37.8 °C con la cual se trabaja en el método ASTM D323. El método alternativo para medir la Presión de vapor con el sensor de presión Vernier es un método válido para poder realizar los análisis de la PVR en el lugar de la toma de muestras.

Asimismo, se concluye que el precio del equipo para el método alternativo es más económico comparado con el equipo del método ASTM D323. El método alternativo puede ser implementado de manera satisfactoria si se realizan más de veintiséis (26) ensayos por mes.

Debido a su precisión, el método puede fácilmente ser implementado para que sea portátil, lo cual lo haría factible de ser usado fuera del laboratorio como método de cribaje en las estaciones de servicio de todo el país.

El esquema planteado en esta investigación puede ser extendida a los otros tipos de gasoholes para generar un modelo válido para todo tipo de gasolinas aditivadas con etanol.

AGRADECIMIENTOS

Los Investigadores agradecen al Laboratorio de Normalización de Petróleo y Derivados (LNPD) de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica (FIP) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por el apoyo en el uso de los equipos e instrumentos, asimismo agradecen al Centro de Certificación, Inspección y Ensayos de Productos Petroleros, Gas Natural y Derivados (CERTIPETRO) de la UNI por el apoyo en la normativa y asesoría en los métodos, finalmente agradecemos a la Unidad de Investigación de la FIP-UNI por el apoyo en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] OSINERGMIN, *Libro Industria Hidrocarburos Líquidos Peru: 20 años de Aporte al Desarrollo del País*. 2015.
- [2] P. Gamio, "IV. Energía en el Perú: ¿Hacia dónde vamos?," in *Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables*, Fundación Friedrich Ebert, 2010.
- [3] PETROPERU, *Especificación Técnica Gasohol 90*, vol. 613, no. c. 2014, p. 946.
- [4] S. Velasco and C. Fernández-Pineda, "Sobre la obtención de la ecuación de Clapeyron-Clausius."
- [5] R. Chang, *Fisicoquímica para las ciencias químicas y biológicas*. McGraw Hill, 2008.
- [6] G. Angel, "Medida de la presión de vapor del agua," *Universidad de País Vasco*. 2020. [Online]. Available: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/vapor1/vapor1.htm>. [Accessed: 26-Jan-2020].
- [7] L. Atarés, "La ley de Raoult," *Univ. Politécnica Val.*, 2014.
- [8] C. Bernardo Monteagudo and M. del Mar, *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú*.
- [9] ASTM, "ASTM D323 - 15a Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)," 2015.
- [10] MINEM, *Establecen especificaciones de calidad del Gasohol (RM N° 515-2009-MEM/DM)*. Perú, 2009.
- [11] El Peruano, "Decreto legislativo que modifica el decreto legislativo N° 1126, que establece medidas de control en los insumos químicos y productos fiscalizados, maquinarias y equipos utilizados para la elaboración de drogas ilícitas," pp. 67–72, 2017.
- [12] El Peruano, *Decreto legislativo que establece medidas de control en los insumos químicos y productos fiscalizados, maquinarias y equipos utilizados para la elaboración de drogas ilícitas*. 2012, pp. 477743–477748.
- [13] El Peruano, *Aprueban nueva lista de insumos químicos, productos y sus subproductos o derivados, objeto de control a que se refiere el Artículo 5 del Decreto Legislativo N° 1126*. 2015, pp. 568272–568274.
- [14] Vernier, "Gas Pressure Sensor." [Online]. Available: <https://www.vernier.com/product/gas-pressure-sensor/>.
- [15] Vernier, "Quick Reference Manual - Logger Pro 3," p. 1.
- [16] Vernier, "LabQuest® 2 | Vernier." [Online]. Available: <https://www.vernier.com/product/labquest-2/>.
- [17] Vernier, "Stainless Steel Temperature Probe | Vernier," 2017. [Online]. Available: <https://www.vernier.com/products/sensors/temperature-sensors/tmp-bta/>. [Accessed: 11-Jul-2017].
- [18] Vernier, "Gas Pressure Sensor | Vernier."
- [19] Alibaba.com, "Equipo de presión de presión de vapor (Reid)." [Online]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/reid-vapor-pressure-testing-vapor-pressure-tester-60425279587.html>.