

¿Afecta la Expansión Volumétrica de los fluidos, los **BALANCES EN EL TRANSPORTE DE CRUDO** por carotanques?

Ing. MS. Freddy Rafael Mengual Escudero
(fedy.mengual@proasem.com)



Resumen:

Actualmente en el sector de hidrocarburos colombiano se encuentra que uno de los puntos críticos en el tema de control de pérdidas es consecuencia directa de la deficiente conceptualización del término expansión volumétrica. Los derivados del petróleo se expanden al calentarse y en contraposición, se contraen cuando se enfrían. Este fenómeno hace que al momento de aplicar procedimientos para la medición de hidrocarburos, tengan que ser evaluadas múltiples variables que en la industria no se cuantifican.

Se presenta a continuación un ejemplo como “caso de estudio” para explicar los fenómenos.

INTRODUCCIÓN

La economía colombiana ha visto como últimamente se han generado avances significativos para la consolidación del sector de hidrocarburos, tanto a nivel local como internacional. La exploración, producción y comercialización ha pasado de ser un promisorio proyecto a mediano y largo plazo para convertirse en un importante bastión de los ingresos corrientes del Estado al día de hoy. De igual manera, argumentos comprobables como la cuantificación de los resultados en materia exploratoria, donde es necesario contrastar la actividad exploratoria a inicios como a finales de siglo en Colombia:

En estos momentos, tenemos para el año 2009, casi 100 pozos exploratorios en proyectos; tenemos que recordar, y más aquellos que nos tocó vivir el periodo de los años 2000, donde la actividad exploratoria prácticamente era nula. En el año 2000, cuando se empezó a gestar la nueva política petrolera, tuvimos conciencia de que el país no podía alcanzar la autosuficiencia petrolera, cuando solamente teníamos 5,6, ó 7 pozos de exploración.

Para poner en contexto las cifras del sector hidrocarburos, este recibe el 42% de toda la inversión total del país, donde adicionalmente “el sector pasó de representar 5,9% del PIB en 2000 a 7,1% en 2011”². Todas estas variables en el sector hacen que actualmente el gobierno colombiano tenga como meta buscar mejores rendimientos en toda la cadena productiva del recurso energético.

Sin embargo, para hacer sostenible este éxito, se debe partir bajo una premisa: toda bonanza debería venir acompañada de una serie de estudios y análisis por parte de los integrantes de la cadena de valor del mencionado bien buscando su optimización y maximización de beneficios. Para entender mejor la cadena productiva de hidrocarburos, “hay 5 actividades principales: exploración, explotación, refinación y petroquímica, transporte y distribución”³. Cada actividad trae consigo una serie de disyuntivas y retos para trabajar de manera coordinada y contribuir con el desarrollo económico sostenible del país.

En esta ocasión, el artículo se centrará en un aspecto técnico del producto, el cual es la expansión del volumen, encontrando una relación directa frente a dos procesos críticos, los cuales son

¹ Ver Lafourie, Luisa Fernanda. La política pública en Colombia: Cuáles han sido sus resultados. En: Memorias V Congreso Internacional de Minería, Petróleo y Gas. 2010. Pág 151.

² Ver Valdemécum de Mercados. Sección Hidrocarburos. En: Revista La Nota Económica. 2011. Pág 50.

transporte y distribución. Por lo anterior, el propósito de este escrito será articular el concepto de expansión volumétrica en torno al control de pérdidas en los hidrocarburos, el cual debe revestir de mayor metodología en la aplicación práctica por parte de los actores involucrados en el proceso.

El desarrollo se dará en el siguiente orden: en primer lugar, se elaborará una conceptualización del término expansión volumétrica, determinando su alcance, elementos y una ejemplificación a tener en cuenta para su correcto uso y comprensión. En segundo lugar, tendrá lugar la exposición de un caso de estudio, donde se comprobará mediante formulación que el producto sufre modificaciones en su volumen cuando es transportado de un sitio con baja temperatura a uno con alta temperatura. Finalmente, se postularán las conclusiones y recomendaciones que tengan lugar a partir de la discusión del tema.

Conceptualización de la Expansión Volumétrica

Cuando la temperatura de una sustancia se incrementa, es porque las moléculas tienen movimiento más rápido y tienden a moverse separadamente. Todas las formas de los materiales sólidos, líquidos y gases se expanden cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían esta propiedad se conoce como *expansión térmica*⁴. Ahora bien, cuando este fenómeno físico tiene lugar sobre un cuerpo con masa y densidad, su volumen tiende a contraerse o expandirse. Es en este contexto donde se origina la *expansión volumétrica*, toda vez que hay una modificación del volumen por factores de temperatura.

La mayoría de los líquidos siguen un patrón bastante predecible de aumento gradual del volumen. Todo esto se genera a partir de un aumento de la temperatura, y disminución del volumen, en respuesta a una disminución de la temperatura. En efecto, el coeficiente de expansión de volumen de un líquido generalmente tiende a ser mayor que el de un sólido.

Entrando en materia, en Colombia el concepto que se tiene de la expansión volumétrica de los combustibles es la variación que existe entre el volumen que entrega el refinador y el volumen que recibe el Distribuidor Mayorista. El Refinador entrega un volumen corregido a determinada temperatura (60°F y 0 psig) y el Mayorista recibe un volumen observado a la temperatura actual al momento de realizar la medida en tanque o en el medidor.

³ Ver Lafourie. Memorias V Congreso Internacional de Minería, Petróleo y Gas. 2010. Pág. 149.

⁴ GIANCOLI, C. DOUGLAS. Física “Principios con aplicaciones”

En principio, este es el actual proceder de la liquidación del producto. Sin embargo, el Mayorista debe liquidar el producto a la condiciones estándar 60°F y 0 psig, para determinar la variación (P/G) entre lo entregado y los recibido y observar que esta variación se encuentre dentro de la banda de control establecidas entre las partes. Cuando no se toma en cuenta las condiciones del ambiente para la liquidación del producto, es muy posible que no se realice una correcta liquidación del mismo.

Para aplicar una correcta liquidación, se debe emplear un marco de referencia que estandarice las prácticas empleadas durante la operación.

Por lo anterior, de acuerdo a la norma API⁵ MPMS 11.1., los coeficientes de expansión térmica a 60°F para los hidrocarburos son los que se muestran a continuación:

Para crudo:

$$\beta = \frac{341.0957}{(\text{Grav.Esp.60}^\circ\text{F} * \text{Densidad H}_2\text{O 60}^\circ\text{F})^2}$$

Para Gasolina:

$$\beta = \frac{192.4571}{(\text{Grav.Esp.60}^\circ\text{F} * \text{Densidad H}_2\text{O 60}^\circ\text{F})^2} + \frac{0.2438}{(\text{Grav.Esp.60}^\circ\text{F} * \text{Densidad H}_2\text{O 60}^\circ\text{F})}$$

Para Jet A1:

$$\beta = \frac{330.301}{(\text{Grav.Esp.60}^\circ\text{F} * \text{Densidad H}_2\text{O 60}^\circ\text{F})^2}$$

Para el Diesel Oil:

$$\beta = \frac{103.8720}{(\text{Grav.Esp.60}^\circ\text{F} * \text{Densidad H}_2\text{O 60}^\circ\text{F})^2} + \frac{0.2701}{(\text{Grav.Esp.60}^\circ\text{F} * \text{Densidad H}_2\text{O 60}^\circ\text{F})}$$

Densidad del agua a 60°F : 999,016 kg/m³.

Teniendo en cuenta la formulación planteada por la norma API MPMS 11.1., los actores que llevan a cabo los procesos de transporte y distribución cuentan con la herramienta de orden técnico para ejecutar de manera adecuada las liquidaciones de los productos. No obstante, una mala conceptualización del mismo puede originar discrepancias entre toda la cadena de producción, causando pérdidas que afectan tanto los volúmenes entregados como la productividad de toda la industria.

⁵ La sigla API se refiere en inglés al American Petroleum Institute, organismo que emite una serie de normas y recomendaciones encaminadas a las buenas prácticas en la industria del petróleo.

Caso de Estudio: Transporte por Carrotaque

En la actualidad, dado el incremento en la exploración y producción de hidrocarburos a nivel nacional, la infraestructura existente se ha visto desbordada (oleoductos, poliductos), recurriendo a medios de transporte motorizados, en su gran mayoría carrotaques. Dichos vehículos son soluciones inmediatas para la industria y su uso es esencial para transportar todo el producto en las diversas zonas del país donde se requiera, bien sea para uso propio (refinación), operaciones de exportación o importación de hidrocarburos u otro fin previsto para dicho bien.

Las probabilidades de que un carrotaque tenga una alteración de su volumen son altas, toda vez que la geografía nacional posee una serie de climas variados entre regiones, alterando la temperatura y las condiciones del producto. Esto es fundamental para el entendimiento del tema, puesto que los derivados del petróleo se expanden al calentarse y se contraen cuando se enfrían.

En ese orden de ideas, para calcular la variación del producto y/o sustancia, es necesario aproximarse al tema mediante una formulación para obtener el coeficiente de dilatación cúbica, que determinará la variación del volumen con base en la variación de la temperatura. Lo anterior se puede realizar con la siguiente expresión:

$$V_f = V_o [1 + \beta (T_f - T_o)]$$

Donde:

V_f = volumen final determinado en litros

V_o = volumen inicial expresado en litros

B = coeficiente de dilatación cúbica determinado en °C⁻¹

T_f = Temperatura final determinado en °C.

T_o = Temperatura inicial determinado en °C.

Para la validación de esta formulación, se ha optado por trabajar un caso de estudio bajo los siguientes supuestos:

Un día frío en Bogotá una empresa carga un carrotaque con 36900 litros de combustible (Gasolina). A continuación el carrotaque se dirige a Yopal - Casanare, donde la temperatura se encuentra 10°C por encima de la de Bogotá y en Yopal el carrotaque entrega la carga completa al suplidor. Bajo estos supuestos, ¿Cuántos litros de combustible tenía que entregar el carrotaque?

Para exponer el caso de manera adecuada y elaborando el estudio de la situación, se debe tener presente que el coeficiente de expansión de volumen para el combustible (Gasolina) es 9,6x10⁻⁴ / °C, mientras que el coeficiente de expansión lineal para el material del carrotaque es 1,12x10⁻⁵ /°C, acero al carbón.

Usando el valor correspondiente para el coeficiente de expansión de volumen para el combustible, la operación nos arroja los siguientes resultados:

$$\text{Volumen (Yopal)} = \text{volumen (Bogotá)} + 9,6 \times 10^{-4} * (10) * \text{volumen (Bogotá)}$$

$$\text{Volumen (Yopal)} = 36900,0 + 354,0$$

$$\text{Volumen (Yopal)} = 37254,0 \text{ litros}$$

Volumen cargado en Bogotá D.C., en galones 9747,95 gal.

Volumen a entregar en Yopal - Casanare en galones 9841,46 gal.

El resultado final de este proceso indica que el producto sufrió alteración en su volumen, en el cual la expansión volumétrica del combustible de la gasolina fue en litros de 354,0 litros (93,51 galones). De igual manera, si el carrotaque cargase producto en condiciones totalmente opuestas a las enunciadas inicialmente, se tendrían que cuantificar de manera adecuada las pérdidas de producto que se originan a partir de las condiciones y sitios de desplazamiento.

La resolución de este tema resulta ser crítico para una cuantificación acertada de las pérdidas en el sector. Hay presentes en el contexto diversas variables que pueden llegar a afectar de manera significativa el proceso. Por ello, para lograr el ajuste correcto en la determinación del volumen por expansión volumétrica, es necesario centrarse en las siguientes condiciones:

- La calibración del carrotaque debe realizarla empresas acreditadas con la norma ISO 17025 con este alcance.*
- Determinar con exactitud el nivel del líquido.*
- La cinta de medición debe estar calibrada.*
- Medir con exactitud la temperatura en el momento que se determina el nivel del líquido.*
- Para acertar en la temperatura, debe estar calibrado el termómetro.*
- Se debe tomar una muestra representativa.*
- Resulta imprescindible determinar con exactitud la densidad a la temperatura estándar cuando se requiera la densidad relativa.*
- Es importante seleccionar la tabla correcta de corrección de volumen, que se aplique para el producto específico.*
- Inspeccionar el carrotaque antes y después del cargue.*

Esta serie de procedimientos contemplan lo que en la industria tendría que estipularse como buenas prácticas para que tenga lugar una cuantificación real del producto. Sin embargo, se ha ponderado que un importante porcentaje de los carrotaques que transportan combustible en el país no se encuentran calibrados, lo que dificulta obtener con exactitud en el carrotaque el volu-

men por expansión volumétrica. De igual manera, no contar con un plan metrológico dentro de la organización hace que la medición contenga muchas variables e incógnitas, que derivará en mayor incertidumbre sobre la medición.

Si tomamos el resultado del caso de estudio, donde se tenía que estaban 93,51 galones adicionales a la estimación inicial del recibo de gasolina, y si tenemos presente que una gran mayoría de los carrotanques no se encuentran calibrados, nos enfrentamos a un escenario donde la medición tiene diversas oportunidades de mejoras.

Por otra parte, en el país se ha observado que cuando los carrotanques son cargados o descargados por medidores de flujo, son calibrados a la temperatura observada, y por ende el factor es igualmente obtenido a esta misma temperatura.

Como se puede observar la determinación de la temperatura es, por lo tanto, un valor directo para el cálculo de volúmenes, tanto como el nivel de producto en el carrotanque o el medidor de flujo. En todas las mediciones de temperatura es esencial extremar los cuidados. Los errores de 1°F (0,5°C) en las lecturas de temperatura pueden resultar en pérdidas importantes. Para la gasolina, un error de 1°F causará una pérdida de 0.07%.

Conclusiones y/o recomendaciones

Encontramos que en la actualidad miles de carrotanques se encuentran transportando hidrocarburos en el país. Esta situación no tiende a disminuir, por el contrario, dado que se necesitan inversiones cuantiosas en infraestructura y facilidades, de momento “el transporte por medio de carrotanques seguirá siendo por varios años un motor muy importante”⁶ en palabras de Rafael Rozo, presidente de Canacol Energy.

En vista del contexto que afrontará Colombia en materia energética, se torna fundamental reconsiderar ciertos aspectos relacionados con la entrega y recibo de los productos por medio de carrotanques. En primer lugar, en la medida en que sean claros los conceptos se tendrá una optimización en el manejo y liquidación del producto.

Si partimos bajo el peor de los escenarios respecto al número de carrotanques en el país transportando hidrocarburos (se habla de alrededor de 3.000) y tenemos en cuenta que cada uno de estos puede cargar en promedio de 200 a 240 barriles del producto, se torna necesario intervenir en el tema para adoptar buenas prácticas. En un caso donde se puede llegar a presentar una mala liquidación por no tener en cuenta los factores enunciados, y partiendo que en caso de

estudio se mencionan 93,51 galones equivalentes a 2,22 barriles⁷ que no se tienen en cuenta en el recibo y/o cargue del producto.

Lo anterior refleja unas potenciales pérdidas o desequilibrios en los balances entre las partes. Esto se encamina hacia un segundo aspecto a tratar, el cual tiene que ver con las disputas entre las partes involucradas en el proceso de transporte y distribución. En la medida que se otorgue la respectiva importancia a una mayor estandarización a los diversos aspectos que afectan el producto entregado, con total seguridad se minimizaran el número de conflictos provenientes de una mala liquidación de la variación del producto. La certeza sobre los datos y el volumen a entregar resulta ser muy conveniente para las empresas que requieran tener inventarios de activos controlados y cuantificar las cantidades que entregan.

Todas las acciones que decidan tomar las compañías para trabajar en el tema necesariamente deben estar acompañadas de las recomendaciones sugeridas en el desarrollo del artículo (calibración de carrotanques y equipos, aseguramiento metrológico, muestreo, entre otras).

No en vano, los expertos en medición afirman que “un sistema de medición con una buena operación tiene un gran potencial para reducir las incertidumbres”⁸.

Finalmente, uno de los grandes móviles para el desarrollo del tema es que finalmente el actor que resulta más afectado por la mala liquidación de los volúmenes es el usuario final. En otras palabras, el consumidor es en cierto modo, quien está afrontando este tema y sobre este recaen una gran parte de las consecuencias de no poseer un registro confiable del despacho del producto. Si en algún momento se ha contemplado seguir avanzando en criterios de equidad y competitividad en materia energética para el usuario final, este es un punto de inicio más que interesante para incursionar. La expansión volumétrica en los hidrocarburos resulta ser un tema que trabajado de manera técnica y prolija está en capacidad de otorgar réditos, tanto en términos comerciales como operativos a todos los actores involucrados en el proceso.

* Quiero hacer un especial agradecimiento al señor Javier Vega, Gerente de proyectos de PROASEM S.A., por sus aportes y comentarios para la elaboración del artículo.

⁶ Ver artículo impreso Quien ‘tubo’ la culpa. En Revista Semana. 2011. Disponible en <http://www.semana.com/economia/quien-tubo-culpa/158241-3.aspx>.

⁷ La medición universal del petróleo históricamente ha tomado que un barril de producto equivale a 42 galones.

⁸ Ver Comstock, Ikawa y Sivaraman. Tank gauging or metering: guidelines for selection. En: Revista Hydrocarbon Processing. 2011. Pág. 85. Traducción del autor.

Gases de Occidente

Optimizamos los procesos productivos
apoyados en avances de
Ciencia, Tecnología e Innovación.



— Tu conexión con una vida mejor. —

Proyecto Código
47992402302



— Tu conexión con una vida mejor. —



Departamento Administrativo de
Ciencia, Tecnología e Innovación
Colciencias
República de Colombia

