



Consejo Nacional de Operación
de Gas Natural

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG)
No. RADICACION: E-2017-006398 06/Jul/2017-16:29:48
MEDIO: CORREOS No. FOLIOS: 1 ANEXOS: ARCHIVO
CREG
ORIGEN CONSEJO NACIONAL DE OPERACION DE GAS
DESTINO NATURAL-CNO-GAS-
German Castro Ferreira

Bogotá D.C., 06 de Julio de 2017

CNOGAS-204-2017

Doctor
Germán Castro Ferreira
Director Ejecutivo
Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG
Ciudad

CREG 18 JUL 2017 8:45

Asunto: Su comunicación CREG-S-2017-002249 de 15 de mayo de 2017, concepto sobre intercambiabilidad de gases y número de Wobbe. Radicado CREG-E-2017-001469.

Respetado doctor Castro.

En atención a la consulta realizada por la CREG mediante comunicación referida en el asunto y una vez analizado por el Consejo el concepto del consultor del CNOGas Polygon Energy, nos permitimos dar respuesta en los siguientes términos:

1. Consulta CREG. "Repercusiones, a nivel técnico, de ampliar el rango de número de Wobbe de 1414,7 BTU/ft³ a 1442,9 BTU/ft³ y aclarar a qué valor de poder calorífico equivale este último valor".

Concepto 1 CNOGas. Acerca de las repercusiones de ampliar el rango del número de Wobbe de 1414,7 BTU/ft³ a 1442,9 BTU/ft³, se describen a continuación los efectos negativos de este incremento:

- ✓ Combustión incompleta
- ✓ Llamas con puntas amarillas
- ✓ Formación de hollín
- ✓ Altas concentraciones de monóxido de carbono (CO) – Gas tóxico (Salud pública)
- ✓ Presencia de hidrocarburos sin quemar (HxCx) en los productos de combustión
- ✓ Daños en equipos de combustión y turbinas de generación eléctrica
- ✓ Afectación sobre motores que operan con gas – Cascabeleo (knocking)
- ✓ Afectación sobre la calidad de los productos obtenidos en procesos de manufactura relacionados con la cerámica, el vidrio, la porcelana, la fibra de vidrio, hornos de atmósfera controlada y procesos textiles de llama directa
- ✓ Pérdida de eficiencia energética en procesos
- ✓ Desactivación de catalizadores
- ✓ Afectación sobre el medio ambiente (aumento de emisiones, contaminación atmosférica)



Consejo Nacional de Operación
de Gas Natural

Por otro lado, gases con altos número de Wobbe requieren de procesos para acondicionamiento a los parámetros de intercambiabilidad necesitados en las diferentes redes locales de distribución para evitar los efectos citados líneas atrás, procesos con los cuales en Colombia no se cuenta. Adicionalmente, altos número de Wobbe que son generados en gases del tipo LNG por cuenta del fenómeno denominado “envejecimiento” (ageing) a los que se encuentran expuestos estos gases, conllevará a que el índice de Wobbe se incremente significativamente, por lo que sería necesario acciones tales como, entre otros, mezcla o *ballasting* con gas inerte. Es preciso anotar que, cuanto más alto sea el índice de Wobbe del cargamento de LNG adquirido, más drásticos serán los efectos de su envejecimiento, razón por la cual, en ausencia de medios e infraestructura para acondicionar a través del tiempo la calidad del gas almacenado, resulta más conveniente la adquisición de gases con índice de Wobbe bajos, especialmente si la rotación del gas no va a ser alta y se estima que va a durar mucho tiempo almacenado.

En adición a lo anterior, es necesario realizar algunas aclaraciones en relación con lo mencionado en su comunicación referida en el asunto: “...(...) *dado que el LNG proveniente de algunos países como Trinidad y Tobago incumplen dicha especificación con valores del número de Wobbe entre 1422,8 BTU/ft³ y 1442,9 BTU/ft³”, considerando que el CNOGas a través de la consultoría realizada en el año 2016 con Polygon Energy identificó con su fuente que las características del gas licuado proveniente de Trinidad y Tobago difieren con los valores de índice de Wobbe mencionados en la comunicación de la CREG. A continuación copiamos apartes del informe ASE-CNO-0617 de Polygon Energy sobre este particular: “El gas de Trinidad y Tobago (islas que forman parte de las Antillas ubicadas en el mar Caribe), es un gas seco y de acuerdo con información obtenida durante el desarrollo de la investigación sobre intercambiabilidad realizada por Polygon Energy para el CNO-Gas en 2016, se caracterizó el LNG de Trinidad y Tobago con un valor genérico del índice de Wobbe de 1370 BTU/ft³ Hay enorme certeza de este dato, no solo desde la perspectiva geológica y de la caracterización de los yacimientos de Trinidad y Tobago, sino también porque el primer cargamento de LNG recibido en la terminal de regasificación de la Sociedad Portuaria El Cayao (SPEC), ubicada en Barú (cercanías de Cartagena), arribó en noviembre de 2016 y provino justamente de Trinidad y Tobago, información entregada por Promigas. Con base en la composición del gas se calculó el índice de Wobbe, obteniendo un valor de 1365,6 BTU/ft³, valor que concuerda con el dato genérico del Wobbe para Trinidad y Tobago.*”

Debido a que el mismo cargamento de la planta SPEC aún se mantiene almacenado en la FSRU (Floating Storage and Regasification Unit), el 14 de junio de 2017 se consultó el BEO de Promigas, encontrando la cromatografía actual de dicho gas. Se calculó nuevamente el índice de Wobbe y el valor obtenido fue de 1374,7 BTU/ft³, valor que concuerda nuevamente con el dato genérico del Wobbe para Trinidad y Tobago. Los valores citados en la consulta de la CREG 1422,8 BTU/ft³ y 1442,9 BTU/ft³, que se supone corresponden a



(571) 3003416; Cel. 316 8308034 URL: www.cnogas.org.co; Email: info@cnogas.org.co



Avenida El Dorado No. 68 C-61 Oficina 532 Ed. Torre Central Davivienda, Bogotá D.C., Colombia

LNG de Trinidad y Tobago, son inclusive más altos que cualquiera de los LNG obtenidos como parte del inventario de LNG elaborado en 2016 para el CNO-Gas. Esto se puede apreciar fácilmente en la Tabla 3, en la cual se han organizado los LNG de menor a mayor índice de Wobbe, se incluyeron también en la Tabla 3 los resultados de Wobbe para las dos muestras de gas almacenado por SPEC (noviembre de 2016 y junio de 2017), los cuales aparecen resaltados en letra negrita, el valor genérico de Trinidad y Tobago se ha escrito en letra azul.

Origen del LNG	Índice de Wobbe Superior A condiciones RUT (14,65 psia y 60°F)
USA Alaska	1352,1
LNG SPEC Trinidad y Tobago (Noviembre 2016)	1365,6
Egipto Damietta	1367,2
Indonesia Tangguh	1367,8
Trinidad y Tobago	1370,0
LNG SPEC Trinidad y Tobago (Junio 2017)	1374,7
Algeria Skikda	1379,8
Egipto Idku	1379,8
Guinea Ecuatorial	1382,8
Noruega	1387,1
Yemen	1387,2
Peru	1388,8
Algeria Bethioua	1392,5
Algeria Arzew	1395,3
Qatar	1399,8
Indonesia Arun	1400,0
Rusia Sakhalin	1400,2
Nigeria	1402,5
Malasia	1404,6
Australia Darwin	1405,4
Australia NWS	1406,3
Oman	1408,0
Brunei	1409,0
Libia	1409,0
Indonesia Badak	1410,3

07



Consejo Nacional de Operación
de Gas Natural

De la Tabla 3, se destaca que el gas de Perú tiene un índice de Wobbe de aproximadamente 1388,8 BTU/ft³, un valor que está dentro de lo establecido en la Resolución CREG 172 de 2016 e incluso dentro del límite de 1400 BTU/ft³ recomendado por Polygon Energy en la fase C, al final del estudio de intercambiabilidad desarrollado en 2016 para el CNO-Gas. El gas de Perú es el candidato ideal para el recibo de gas en una futura terminal de regasificación de LNG en el Pacífico, dado que es el que ofrece el menor costo de transporte por su cercanía geográfica.

No es procedente afirmar que con los límites de índice de Wobbe propuestos por la CREG en la Resolución 172 de 2016, o por el CNO-Gas, se limite la disponibilidad de fuentes de importación, mucho menos la del gas de Trinidad y Tobago. Los valores de Wobbe consultados por la CREG no corresponden a las características del gas de Trinidad y Tobago, siendo superiores incluso a los LNG de más alto Wobbe que son producidos en el medio Oriente y en la región de Australasia (Australia e Indonesia)” (Para mayor detalle ver numeral 2 del informe ASE-CNO-0617 de Polygon Energy).

Concepto 2 CNOGas. Acerca del poder calorífico equivalente a un número de Wobbe de 1442,9 BTU/ft³, precisamos los siguientes aspectos, con fundamento en el numeral 2.2.3 del informe ASE-CNO-0617 de Polygon Energy:

Por cuanto el índice de Wobbe es una función del poder calorífico del gas y de su densidad; siendo que estas dos son propiedades que dependen de la composición del gas, matemáticamente existe un gran conjunto de gases que pueden corresponder con los límites indicados por la CREG.

Con base en la experiencia y el conocimiento de los LNG que se comercializan actualmente, podría decirse que la composición aproximada sería la mostrada en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición aproximada para un LNG en el intervalo de números de Wobbe entre 1414,7 BTU/ft³ y 1442,9 BTU/ft³

Componente	Concentración
Metano	Inferior a 90%
Etano	Superior a 5%
Propano	Superior a 2%
C4+	Superior a 1%

Estos gases podrían tener poderes caloríficos como mínimo del orden de 1130 BTU/ft³, y valores superiores a este dato, es decir, hacia el extremo superior del límite máximo RUT (1150 BTU/ft³).



Consejo Nacional de Operación
de Gas Natural

2. Consulta CREG. *“Adicionalmente, quisiéramos conocer cuáles podrían ser los efectos negativos de ampliar en el RUT el valor máximo admitido de nitrógeno de 3% a 5%”.*

Concepto CNOGas. De acuerdo con el informe de Polygon Energy en cuanto a las experiencias en países como el Reino Unido y a su propio análisis, no existen evidencias que respalden posibles efectos negativos derivados del uso de gases naturales que tengan 5% de nitrógeno (0% CO₂), asumiendo que dichos gases cumplan con todas las especificaciones de calidad del RUT (Para mayor detalle ver numeral 3 del informe ASE-CNO-0617 de Polygon Energy).

Para concluir y como complemento a la consulta de la Comisión según comunicación referida en el asunto, el Consejo considera necesario que la CREG revise la posibilidad de implementar un mecanismo, de mediano-largo plazo, que sirva como punto de partida para dar inicio a la estructuración de una política en materia de la gestión de intercambiabilidad que posibilite el acceso a gases diversos que se puedan obtener a precios competitivos en el mercado teniendo como premisa fundamental conservar los preceptos de seguridad, eficiencia y protección al medio ambiente que enmarcan la definición de gases intercambiables. Una opción pudiere derivarse de lo previsto en la regulación vigente asociado a la figura del Procesador de Gas en el SNT, Resolución CREG 089 de 2013, a través de la cual se podrán prestar servicios para (i) enriquecimiento del gas para el incremento del Índice de Wobbe y el poder calorífico o (ii) empobrecimiento del gas para reducir el Índice de Wobbe y el poder calorífico.

Cordialmente

FREDI ENRIQUE LOPEZ SIERRA
Secretario Técnico del CNOGas

Anexo: Informe Polygon Energy, ASE-CNO-0617 de junio de 2017.

Copia: Dr. Hernán Molina- Experto Comisionado
Dr. Jorge Duran- Asesor
Miembros CNOGas

INFORME

ASESORÍA DE APOYO A LA CONSULTA TÉCNICA DE LA CREG ACERCA DE INTERCAMBIABILIDAD DE GAS NATURAL

Preparado Para:

Consejo Nacional de Operación de Gas Natural (CNO-Gas)

Elaborado Por:

Juan Manuel Ortiz Afanador

Liliana Valero Alvarado

Bucaramanga, Junio de 2017

1. INTRODUCCIÓN

La CREG, mediante comunicación identificada con número de radicado S-2017-002249 del 15 de mayo de 2017, dirigida al CNO-Gas, solicitó al Consejo un concepto sobre intercambiabilidad de gases y número de Wobbe.

En la comunicación referida se plantearon en términos generales dos consultas, ambas relacionadas con la Resolución CREG 172 de 2016, por la cual se ordena hacer público un proyecto de resolución de carácter general, “Por la cual se complementan las especificaciones de calidad para la intercambiabilidad de gases en el Sistema Nacional de Transporte de Gas”.

Las dos consultas son (cita textual de la comunicación CREG S-2017-002249):

1. (...) considerando la entrada en operación de la planta de regasificación del caribe y la posibilidad de que gases con diferentes características a las del gas colombiano ingresen al SNT, nos permitimos solicitar su concepto sobre cuáles podrían ser las repercusiones, a nivel técnico, de ampliar el rango de número de Wobbe de 1.414,7 BTU/ft³ a 1.442,9 BTU/ft³ y aclarar a qué valor de poder calorífico equivale este último valor.
2. (...) quisiéramos conocer cuáles podrían ser los efectos negativos de ampliar en el RUT el valor máximo admitido de nitrógeno de 3% a 5%.

Dado que ambas consultas guardan relación con los resultados, conclusiones y recomendaciones derivados del contrato “Investigación Documental Detallada sobre Intercambiabilidad de Gases”, ejecutado por Polygon Energy para el CNO-Gas en el año 2016, el CNO-Gas solicitó a Polygon Energy que le brindara un apoyo técnico enfocado a respaldar al Comité Técnico en la respuesta a las consultas formuladas por la CREG.

El presente informe contiene un análisis de las dos consultas, apoyándose en la investigación desarrollada en 2016 para el CNO-Gas y en la experiencia de los asesores de Polygon Energy.

2. CONSULTA No. 1: Ampliar el rango de número de Wobbe

2.1 Contexto Técnico

Luego de haber realizado el estado del arte de la intercambiabilidad de gas natural a nivel mundial, como parte de la investigación encomendada por el CNO-Gas en 2016, es necesario destacar que, a nivel internacional, todos los países estudiados tienen en común el empleo del índice de Wobbe como parámetro a partir del cual definen límites regulatorios (inferior y superior) orientados hacia el control de la intercambiabilidad¹.

La razón por la cual, a nivel mundial, en el ámbito regulatorio, se recurre al índice de Wobbe es debido a que este es un parámetro universal de intercambiabilidad de gases, que tiene como ventaja trascendental, que su cálculo se puede realizar de manera rápida y sencilla (simplemente dividiendo el poder calorífico entre la raíz cuadrada de la densidad relativa). La estandarización y simplicidad son aspectos de gran importancia en el ámbito comercial.

Es importante aclarar que, si bien, el número de Wobbe es el principal parámetro empleado a nivel mundial para el control de la intercambiabilidad, en términos de la operación de las redes de gas, el índice de Wobbe por sí solo resulta insuficiente, quedándose corto con respecto a la predicción de los posibles fenómenos de combustión que podrían manifestarse ante una variación del gas combustible.

Debido a lo anterior, la industria ha desarrollado métodos adicionales, más robustos, basados en resultados experimentales provenientes de pruebas con diferentes gases y tipos de quemadores. Estos métodos permiten una mejor descripción de los fenómenos de intercambiabilidad, pudiendo afirmarse que, a nivel operativo, son un complemento del índice de Wobbe; ejemplos de estos métodos son: los índices de AGA y Weaver en Estados Unidos y el método de Dutton aplicado en el Reino Unido.

A la fecha, en el RUT no se cuenta con límites para el índice de Wobbe, no obstante, en la actualidad Colombia se encuentra definiendo los límites a aplicar, lo cual indica que se ha reconocido la importancia de este parámetro esencial para la industria del gas (seguridad, eficiencia, medio ambiente) y para el comercio del gas (importaciones, LNG, nuevas fuentes de gas convencionales y no-convencionales, etc.).

Lo "ideal" sería que el intervalo de índices de Wobbe a exigir fuera tan amplio que pudiera abarcar gases de múltiples y variadas especificaciones, provenientes de diversas fuentes, de manera que no se restringiera su ingreso a las redes, siendo deseable que no existieran grandes barreras comerciales para el recibo de gases más competitivos en cuanto a su valor de mercado.

¹ Dentro del conjunto de los países investigados se destacan como casos especiales el Reino Unido y Estados Unidos, en ambos se complementa el índice de Wobbe con parámetros de intercambiabilidad adicionales. En Reino Unido además del índice de Wobbe se exige el cumplimiento de índices de combustión incompleta y hollín (Dutton), mientras que en Estados Unidos se exige adicionalmente el cumplimiento de los índices de AGA y Weaver, aplicables a fenómenos de combustión.

Sin embargo, abrir demasiado el intervalo de índices de Wobbe conlleva a un alto riesgo de que los usuarios del gas experimenten problemas de combustión, tales como la combustión incompleta, la formación de hollín, el desprendimiento de llama y el retroceso de llama, entre otros.

En países como **Estados Unidos y el Reino Unido**, se restringe en gran medida la intercambiabilidad de gas, exigiendo que el índice de Wobbe se encuentre dentro de un intervalo de aproximadamente $\pm 4\%$, requiriendo adicionalmente el cumplimiento de parámetros de intercambiabilidad suplementarios (AGA, Dutton), a los cuales se suma el cumplimiento de las demás características de calidad de gas que refuerzan el control (P. Ej. Poder calorífico, temperatura de punto de rocío de hidrocarburos, contenido de inertes, etc.).

Por otra parte, hay países con intervalos amplios de índice de Wobbe, como por ejemplo **Alemania, Holanda, Austria y España** donde se acepta gas dentro de un intervalo de índice de Wobbe entre un $\pm 9\%$ y un $\pm 10\%$.

A nivel mundial, **la mayoría de países** han optado por emplear un intervalo de índice de Wobbe entre el $\pm 4\%$ y el $\pm 5\%$, siendo que en algunos casos aplican limitaciones por regiones (como por ejemplo en Brasil, en México y en Estados Unidos).

El empleo del límite de $\pm 5\%$ es popular pues corresponde a un valor “**técnicamente razonable**”, dentro del cual se espera que no vayan a ocurrir problemas significativos de intercambiabilidad en equipos de combustión convencionales (quemadores atmosféricos de premezcla); también fabricantes de turbinas generadoras que emplean quemadores de difusión de llama tradicionales han adoptado este valor de referencia dentro de sus especificaciones². Podría decirse que el valor de $\pm 5\%$ es el equivalente a lo que se conoce en la industria como una “regla del dedo gordo” (rule of thumb).

Si se revisa el intervalo propuesto en la **Resolución CREG 172 de 2016** se observa que el intervalo cubierto entre un índice de Wobbe de 1280,0 BTU/ft³ y uno de 1414,7 BTU/ft³ corresponde exactamente a $\pm 5\%$.

Con base en los resultados de la consultoría, **Polygon Energy** recomendó al CNO-Gas reducir de 1414,7 BTU/ft³ a 1400 BTU/ft³ el límite superior del intervalo de Wobbe, esto bajo un enfoque conservativo y pragmático, dado que (excluyendo los gasoductos dedicados) el número de campos productores con índices de Wobbe superiores a 1400 BTU/ft³ y que se conectan al SNT es muy pequeño, adicionalmente los volúmenes que inyectan son relativamente bajos al compararse con las dos matrices tradicionales colombianas (Guajira y Cusiana). También se recomendó reducir el límite inferior del Wobbe de 1280,0 BTU/ft³ a 1250 BTU/ft³, propuesta que buscaba consistencia con relación a la combinación de máximo contenido total de inertes admitido actualmente en el RUT (5%) que aportara el menor número de Wobbe, correspondiendo a 3% de nitrógeno y 2% de dióxido de carbono. El intervalo de 1400 BTU/ft³ a 1250 BTU/ft³ corresponde a $\pm 5,7\%$.

² Con excepción de las turbinas que poseen sistemas automatizados para control de premezcla, las cuales permiten reducción de óxidos de nitrógeno DLN (Dry Low NOx) y control de emisiones DLE (Dry Low Emission), estos equipos son muy sensibles a las variaciones de índice de Wobbe y sus márgenes de operabilidad segura se reducen al orden de $\pm 2\%$.

Posteriormente, el **Comité Técnico del CNO-Gas**, con base en los resultados de la investigación desarrollada por Polygon Energy, decidió conservar el valor del límite superior del Wobbe planteado originalmente en la CREG 172 (1414,7 BTU/ft³) y acoger la recomendación de reducir el límite inferior del Wobbe de 1280,0 BTU/ft³ a 1250 BTU/ft³. De esta forma, el intervalo de 1414,7 BTU/ft³ a 1250 BTU/ft³ corresponde a **±6,2%**.

Actualmente, la consulta en curso de la **CREG** que está siendo tratada en el presente informe, se enfoca en conocer las repercusiones, a nivel técnico, de ampliar el rango de número de Wobbe de 1414,7 BTU/ft³ a 1442,9 BTU/ft³. De tal forma, que se conformaría un intervalo que puede ser de **±6%** o de **±7,2%**, según se adopte como límite inferior el valor original de la CREG 172 (1280,0 BTU/ft³) o la propuesta de emplear el valor de 1250 BTU/ft³ para armonizar con respecto a las otras especificaciones de calidad (mínimo poder calorífico y máximo contenido de inertes que derive en el menor índice de Wobbe), respectivamente.

La Figura 1 presenta una matriz que contiene los resultados de la evaluación de intercambiabilidad mutua de gases colombianos. Se elaboró con base en el método de AGA - Weaver, empleando límites de **±5%** para los índices de Wobbe y factor de Knoy, mientras que los índices de AGA y Weaver conservaron los valores límites recomendados por AGA a partir de la investigación del Gas Research Institute (GRI). La matriz de la Figura 1 equivale a una “radiografía” del panorama de intercambiabilidad para los gases que actualmente ingresan al SNT en proporciones considerables, **los gases representados en la matriz corresponden a más del 90% del volumen gas que ingresa al SNT.**

Para leer la matriz se ingresa con el “gas de ajuste” sobre el extremo izquierdo, este corresponde al gas con el cual esta reglado el equipo de combustión, de acuerdo con las condiciones locales de distribución donde se encuentra instalado el artefacto. Posteriormente, se busca la intersección con el “gas sustituto” de interés, el gas sustituto corresponde al gas que será quemado en reemplazo del gas de ajuste, sin realizar ajustes sobre el quemador.

La matriz está representada con colores en escala térmica, correspondiendo el color rojo oscuro al panorama con mayores problemas potenciales de intercambiabilidad, en la medida que el color palidece, pasando por naranja y amarillo hasta llegar a blanco, los problemas potenciales y las advertencias van reduciéndose.

Los extremos de la matriz corresponden al gas con menor Wobbe, representado por Caramelo (1300 BTU/ft³), y Cusiana-Apiay con el mayor Wobbe (1391,3 BTU/ft³). **Entre estos dos extremos hay una diferencia de 6,6%.**

A primera vista se aprecia un detalle significativo, **la matriz no es simétrica**, mientras que en el extremo con gas de reglaje Cusiana-Apiay predomina el color naranja (esquina superior izquierda de la Figura 1), en el extremo con gas de reglaje Caramelo se destaca el color rojo intenso (esquina inferior derecha de la Figura 1).

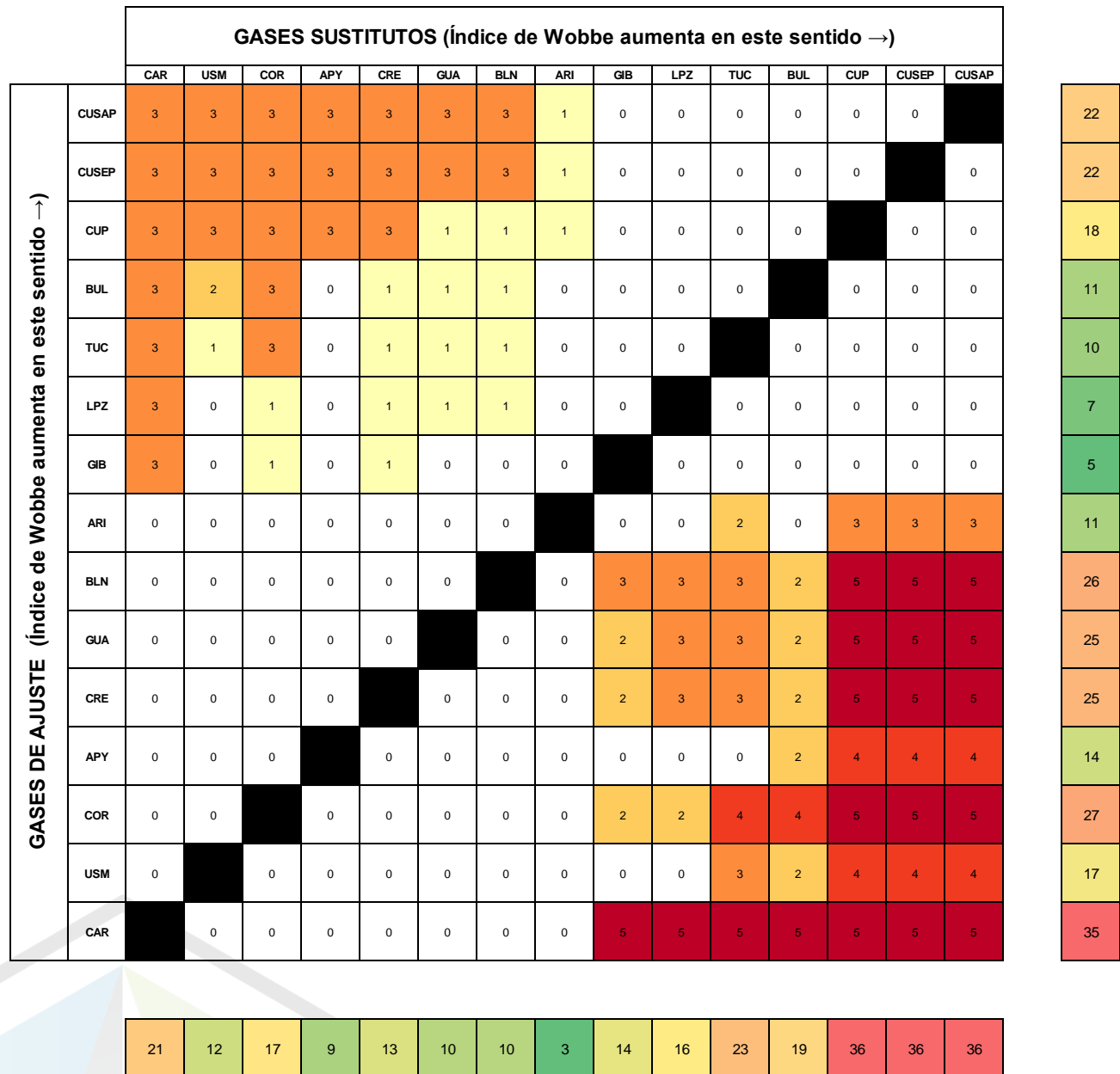


Figura 1. Matriz de intercambiabilidad para gases colombianos basada en el número de eventos y alertas de riesgo potencial obtenidas de aplicar el método de AGA - Weaver (Tomado del Informe de Intercambiabilidad – Fase C)

Lo anterior define un aspecto muy importante: **la intercambiabilidad de gases no obedece a una propiedad conmutativa**. No es lo mismo recibir gas de Cusiana en un quemador reglado para gas Caramelo, que recibir gas Caramelo en un quemador reglado para gas Cusiana.

El quemador reglado para gas de Cusiana posee una mayor admisión de aire para la premezcla, siendo capaz de quemar gases con menor número de Wobbe, a costas de una reducción significativa de la potencia entregada por el quemador (**Weaver Heat Rate Ratio (JH) < 0,95**), situación que afecta la eficiencia de los procesos.

Por otra parte, el quemador reglado para gas Caramelo, que es un gas pobre, al recibir un gas más rico, va a demandar una mayor cantidad de aire para quemarse completamente, por lo que se anticipa la formación de puntas amarillas en las llamas (**AGA Yellowtipping Index (IY) < 0,86**) que conducirán a la generación de hollín, este fenómeno se asocia a una combustión incompleta (**Weaver Incomplete Combustion Index (JI) > 0,05**), con la correspondiente generación de altos contenidos de **monóxido de carbono (CO)** y, aunque pueda apreciarse un aumento en la potencia entregada por el quemador (**Weaver Heat Rate Ratio (JH) > 1,05**), es probable que dentro de los productos de combustión se tengan altas concentraciones de **hidrocarburos sin quemar (CxHx)**, debido a que el aire requerido para la combustión es insuficiente, afectando así la eficiencia de los procesos.

En conclusión, a partir de lo anterior, **se puede afirmar que los problemas de intercambiabilidad serán más acentuados en sistemas de combustión reglados para gases típicamente pobres**, como por ejemplo aquellos provenientes de las cuencas de La Guajira y del Valle del Magdalena Inferior, en el evento que estos reciban gases ricos, provenientes por ejemplo de las cuencas de los Llanos Orientales y del Magdalena Superior y Medio.

La industria del gas en Colombia se ha consolidado a partir de **dos grandes matrices: el gas pobre de Guajira (Wobbe 1325 BTU/ft³) y el gas rico de Cusiana (Wobbe 1390 BTU/ft³)**. Estos dos gases constituyen extremos opuestos de intercambiabilidad, están separados entre sí **4,6%**, es decir más cercanos de lo que Caramelo y Cusiana-Apiay están (6,6%), e incluso dentro del 5% de la mencionada “regla del dedo gordo”, pero sujetos a problemas sensibles de combustión incompleta en el evento que se intercambie gas Guajira por gas Cusiana y problemas de eficiencia en el intercambio de gas Cusiana por gas Guajira (revisar nuevamente la Figura 1).

Este último análisis demuestra que la intercambiabilidad de gases es una materia compleja, y si bien en términos de comercio se suele emplear el índice de Wobbe para delimitar el rango de gases, **en términos operativos no basta con confiar exclusivamente en el índice de Wobbe para poder garantizar la seguridad de los usuarios, la eficiencia de los procesos y la protección al medio ambiente.**

Es de destacar que en los últimos 10 años se han presentado situaciones en las que al interior del país se recibe gas de La Guajira. Sin embargo, **en la Costa Norte jamás se ha recibido gas de Cusiana, es decir que la experiencia operativa en este sentido es nula.** Considerando que la planta de regasificación está instalada justamente en la Costa Norte, este sería el territorio más sensible a problemas de combustión potenciales por el recibo de gases provenientes del exterior que tengan un alto índice de Wobbe.

Por las razones antes expuestas, cuando la diversificación de fuentes de gas se incrementa, es necesario implementar **procesos de gestión de la intercambiabilidad de gas**, tanto para el gas

licuado (LNG) recibido en terminales de regasificación como para el gas natural transportado localmente. Esta gestión puede ser realizada en cuatro puntos de la cadena del gas:

- En el punto de producción de gas
- En la terminal de regasificación
- En la red de transporte y/o de distribución
- En el punto de salida

Dejando a un lado los equipos y procesos de combustión que poseen sensores y controladores automatizados que adaptan el proceso a las condiciones de calidad de gas, puede afirmarse que los posibles ajustes a aplicar sobre la calidad del gas se circunscriben a dos casos: i) enriquecimiento, y ii) empobrecimiento del gas.

- **Enriquecimiento del gas:** En este proceso **se incrementa el índice de Wobbe y el poder calorífico del gas** mediante la inyección de hidrocarburos pesados tales como el GLP o mediante la remoción de inertes presentes en el gas (P. Ej. Dióxido de carbono y nitrógeno)
- **Empobrecimiento del gas:** En este proceso **se reduce el índice de Wobbe y el poder calorífico del gas** mediante la inyección de un gas inerte (proceso denominado “ballasting”) o removiéndole al gas los hidrocarburos más pesados que el metano.

A continuación, en la Tabla 1 se ofrece un resumen que contiene las opciones consideradas por IGU para ajuste de calidad del gas:

Tabla 1. Opciones de ajuste de la calidad del gas (Adaptada de IGU)

Punto de implementación	Técnica de Gestión de Calidad de Gas	Ajuste a realizar
En el punto de producción de gas	Fraccionamiento (Extracción de GLP y/o etano)	Empobrecimiento
	Inyección de nitrógeno	Empobrecimiento
	Inyección de GLP	Enriquecimiento
En la terminal de regasificación	Ballasting con gas inerte	Empobrecimiento
	Fraccionamiento (Extracción de GLP y/o etano)	Empobrecimiento
	Inyección de GLP	Enriquecimiento
	Remoción de inertes o CO2	Enriquecimiento
En la red de transporte y/o de distribución	Mezcla con gases de diferente composición	Empobrecimiento/ Enriquecimiento
	Ballasting con gas inerte	Empobrecimiento/ Enriquecimiento
En el punto de salida	Inyección de GLP	Enriquecimiento
	Mezcla con gases de diferente composición	Empobrecimiento/ Enriquecimiento
	Control automatizado de la combustión	–

Los países que estipulan intervalos amplios de índice de Wobbe (como Alemania, España, Holanda) se caracterizan porque cuentan con las tecnologías y están en capacidad de aplicar las acciones de gestión de intercambiabilidad para poder adaptar las fuentes de suministro a las condiciones locales de distribución particulares. Disponen de infraestructura que les permite bien sea acciones simples como la realización de mezclas de gases³, operaciones básicas de empobrecimiento tales como la inyección de nitrógeno, o de enriquecimiento inyectando GLP, entre otras.

³ Por ejemplo, cuentan con gasoductos independientes para el transporte de gases de la Segunda Familia Grupo H y Segunda Familia Grupo L, no poseen uno sino varios almacenamientos de LNG con gases de diferentes índices de Wobbe que pueden mezclar entre sí.

En la actualidad Colombia no cuenta con infraestructura especial para acondicionar el gas natural a los parámetros de intercambiabilidad requeridos en las diferentes redes locales de distribución, si bien los transportadores realizan mezclas operativas de gases de diferentes composiciones, el potencial de mezcla es limitado y usualmente trae asociada una gran variabilidad en la composición del gas y por ende de sus propiedades con respecto al tiempo (inestabilidad en la calidad del gas).

A pesar de lo anterior, se destaca la existencia dentro de la regulación vigente, en particular dentro de la Resolución CREG 071 de 1999 (RUT) de la figura del Procesador de Gas en el SNT, la cual fue incluida mediante el artículo 3 de la Resolución CREG 089 de 2013 y se define como (cursiva fuera de texto):

PROCESADOR DE GAS EN EL SNT: Participante del mercado que toma gas natural en un punto de salida del SNT dentro de las condiciones de calidad establecidas en el RUT, le extrae componentes e inyecta el gas natural residual al SNT dentro de las condiciones de calidad señaladas en el RUT. Su participación en el mercado mayorista de gas natural será objeto de regulación aparte.

Dicha definición podría tenerse en cuenta como un punto de partida para dar inicio a la estructuración de una política en materia de la gestión de intercambiabilidad, que posibilite el acceso a gases diversos que se puedan obtener a precios competitivos en el mercado, pero sin sacrificar los preceptos de seguridad, eficiencia y protección al medio ambiente que enmarcan la definición de gases intercambiables.

2.2 Respuesta a la consulta

2.2.1 Índice de Wobbe del LNG de Trinidad y Tobago

En su comunicación S-2017-002249 del 15 de mayo de 2017, dirigida al CNO-Gas, la CREG hace mención a un comentario que recibió a la Resolución CREG 172 de 2016 en el cual se planteaba que (cursiva y negrita fuera de texto):

*(...) el rango de número de Wobbe propuesto en dicha resolución (1.280 BTU/ft³ a 1.414,7 BTU/ft³) limitaría la disponibilidad de fuentes de importación, dado que el LNG proveniente de algunos países como Trinidad y Tobago incumplen dicha especificación con valores del número de Wobbe entre **1.422,8 BTU/ft³ y 1.442,9 BTU/ft³**.*

Al respecto debe anotarse que **las características del gas licuado proveniente de Trinidad y Tobago no corresponden con los valores de índice de Wobbe mencionados en la comunicación de la CREG**. El gas de Trinidad y Tobago (islas que forman parte de las Antillas ubicadas en el mar Caribe), es un gas seco, de acuerdo con información obtenida durante el desarrollo de la investigación sobre intercambiabilidad realizada por Polygon Energy para el CNO-Gas en 2016, se caracterizó el LNG de Trinidad y Tobago con un valor genérico del índice de Wobbe de **1370 BTU/ft³**.

Hay enorme certeza de este dato, no solo desde la perspectiva geológica y de la caracterización de los yacimientos de Trinidad y Tobago, sino también porque el **primer cargamento de LNG recibido en la terminal de regasificación de la Sociedad Portuaria El Cayao (SPEC), ubicada en Barú (cercanías de Cartagena), arribó en noviembre de 2016 y provino justamente de Trinidad y Tobago**⁴. Con base en la composición del gas se calculó el índice de Wobbe, obteniendo un valor de **1365,6 BTU/ft³**, valor que concuerda con el dato genérico del Wobbe para Trinidad y Tobago.

Debido a que el mismo cargamento de la planta SPEC aún se mantiene almacenado en la FSRU (Floating Storage and Regasification Unit), el **14 de junio de 2017** se consultó el BEO de Promigas, encontrando la cromatografía actual de dicho gas. Se calculó nuevamente el índice de Wobbe y el valor obtenido fue de **1374,7 BTU/ft³**, valor que concuerda nuevamente con el dato genérico del Wobbe para Trinidad y Tobago.

En la Tabla 2 se muestran los datos correspondientes al gas de Trinidad y Tobago almacenado por SPEC para las dos fechas en mención (primer carga recibida y composición actual de la misma carga).

Tabla 2. Gas de Trinidad y Tobago recibido y almacenado por SPEC en la FSRU

Componentes y Propiedades a condiciones RUT (14,65 psia y 60°F)	Cromatografía Cargamento Inaugural Noviembre de 2016	Cromatografía Actual Para el mismo cargamento Junio de 2017
Metano	97,7590%	95,9842%
Nitrógeno	0,0148%	0,0016%
Dióxido de carbono	0,0000%	0,0000%
Etano	1,8312%	3,3516%
Propano	0,3385%	0,5659%
iso-Butano	0,0305%	0,0520%
Butano	0,0202%	0,0353%
iso-Pentano	0,0058%	0,0057%
Pentano	0,0000%	0,0028%
Hexano	0,0000%	0,0009%
Densidad relativa real	0,5679	0,5781
Poder calorífico superior	1029,1 BTU/ft ³	1045,3 BTU/ft ³
Índice de Wobbe superior	1365,6 BTU/ft ³	1374,7 BTU/ft ³

Como se puede apreciar, a pesar de ser el mismo cargamento, existen diferencias entre la composición inicial y la actual, el contenido de metano y nitrógeno disminuyeron, mientras que los demás componentes incrementaron sus proporciones; la densidad, el poder calorífico y el índice de Wobbe aumentaron con el tiempo. Este fenómeno se denomina **“envejecimiento” (ageing)** y ocurre debido a que el aislamiento térmico del almacenamiento no es perfecto, de manera que la

⁴ La información acerca de la proveniencia y la cromatografía de dicho gas fue amablemente suministrada por Promigas (correo electrónico con fecha 23 de noviembre de 2016) para el desarrollo de la investigación sobre intercambiabilidad para el CNO-Gas (2016)

transferencia de calor hacia el LNG ocasiona que se evapore parte del gas en fase líquida. La vaporización no es homogénea, por lo que los componentes con el punto de ebullición más bajo (nitrógeno y metano) tienden a evaporarse de forma más rápida que los componentes pesados.

Transcurrido un largo período de tiempo, es posible que el índice de Wobbe aumente significativamente, por lo que es necesaria la realización de **acciones de gestión de intercambiabilidad, como por ejemplo la mezcla o el ballasting con gas inerte** (Tabla 1).

Los valores citados en la consulta de la CREG 1422,8 BTU/ft³ y 1442,9 BTU/ft³, que se supone corresponden a LNG de Trinidad y Tobago, **son inclusive más altos que cualquiera de los LNG obtenidos como parte del inventario de LNG elaborado en 2016 para el CNO-Gas**. Esto se puede apreciar fácilmente en la Tabla 3, en la cual se han organizado los LNG de menor a mayor índice de Wobbe, se incluyeron también en la Tabla 3 los resultados de Wobbe para las dos muestras de gas almacenado por SPEC (noviembre de 2016 y junio de 2017), los cuales aparecen resaltados en letra negra, el valor genérico de Trinidad y Tobago se ha escrito en letra azul.

Tabla 3. Índices de Wobbe para LNG de diferentes fuentes a nivel mundial

Origen del LNG	Índice de Wobbe Superior A condiciones RUT (14,65 psia y 60°F)
USA Alaska	1352,1
LNG SPEC Trinidad y Tobago (Noviembre 2016)	1365,6
Egipto Damietta	1367,2
Indonesia Tangguh	1367,8
Trinidad y Tobago	1370,0
LNG SPEC Trinidad y Tobago (Junio 2017)	1374,7
Algeria Skikda	1379,8
Egipto Idku	1379,8
Guinea Ecuatorial	1382,8
Noruega	1387,1
Yemen	1387,2
Peru	1388,8
Algeria Bethioua	1392,5
Algeria Arzew	1395,3
Qatar	1399,8
Indonesia Arun	1400,0
Rusia Sakhalin	1400,2
Nigeria	1402,5
Malasia	1404,6
Australia Darwin	1405,4
Australia NWS	1406,3
Oman	1408,0
Brunei	1409,0
Libia	1409,0
Indonesia Badak	1410,3

De la Tabla 3, se destaca que el gas de Perú tiene un índice de Wobbe de aproximadamente **1388,8 BTU/ft³**, un valor que está dentro de lo establecido en la Resolución CREG 172 de 2016 e incluso dentro del límite de 1400 BTU/ft³ recomendado por Polygon Energy en la fase C, al final del estudio de intercambiabilidad desarrollado en 2016 para el CNO-Gas. **El gas de Perú es el candi-**

dato ideal para el recibo de gas en una futura terminal de regasificación de LNG en el Pacífico, dado que es el que ofrece el menor costo de transporte por su cercanía geográfica. El costo del transporte del LNG es el rubro más significativo en la formación del precio del LNG, por esta razón los dos focos de mayor competitividad para abastecer a Colombia con LNG serían el gas de Trinidad y Tobago para abastecer la planta regasificación de SPEC en el Caribe y el gas de Perú para abastecer a futuro una planta de regasificación ubicada en el Pacífico colombiano.

No es procedente afirmar que con los límites de índice de Wobbe propuestos por la CREG en la Resolución 172 de 2016, o por el CNO-Gas, se limite la disponibilidad de fuentes de importación, mucho menos la del gas de Trinidad y Tobago. Los valores de Wobbe consultados por la CREG no corresponden a las características del gas de Trinidad y Tobago, siendo superiores incluso a los LNG de más alto Wobbe que son producidos en el medio Oriente y en la región de Australasia (Australia e Indonesia).

2.2.2 Repercusiones de ampliar más el intervalo de índice de Wobbe

Acerca de las repercusiones, a nivel técnico, de ampliar el rango de número de Wobbe de 1414,7 BTU/ft³ a 1442,9 BTU/ft³, una parte se ilustró en la sección 2.1 del presente informe, incluyendo algunos fundamentos básicos, pero se encuentran a un mejor nivel de detalle en el informe de la fase C de la investigación sobre intercambiabilidad realizada para el CNO-Gas en 2016, básicamente se resumen en:

- Combustión incompleta
- Llamas con puntas amarillas
- Formación de hollín
- Altas concentraciones de monóxido de carbono (CO) – Gas Tóxico (Salud pública)
- Presencia de hidrocarburos sin quemar (HxCx) en los productos de combustión
- Daños en equipos de combustión y turbinas de generación eléctrica
- Afectación sobre motores que operan con gas – Cascabeleo (knocking)
- Afectación sobre la calidad de los productos obtenidos en procesos de manufactura relacionados con la cerámica, el vidrio, la porcelana, la fibra de vidrio, hornos de atmósfera controlada y procesos textiles de llama directa
- Pérdida de eficiencia energética en procesos
- Desactivación de catalizadores
- Afectación sobre el medio ambiente (aumento de emisiones, contaminación atmosférica)

Las repercusiones de ampliar aún más el índice de Wobbe por encima son drásticas para la seguridad de los consumidores a todo nivel (residencial, comercial, industrial, parque térmico, sector petroquímico), tendrían un impacto sobre la eficiencia energética y también sobre el medio ambiente. Las regiones donde la afectación sería mayor corresponderían a aquellas con reglaje de equipos de combustión para el uso de gases con índice de Wobbe bajo, las cuales coinciden con la Costa Norte, incluida su área de influencia hacia el interior del país (gasoducto Ballena – Barran-

cabermeja). Se debe anotar también que en la actualidad la Costa Norte es el único puerto de entrada para LNG existente en Colombia, por lo que la decisión de ampliar el límite reviste un mayor cuidado y precaución, se recomienda cautela.

2.2.3 Poder calorífico correspondiente al índice de Wobbe consultado

La CREG también consulta en la misma comunicación acerca del poder calorífico al cual correspondería un número de Wobbe en el intervalo de 1414,7 BTU/ft³ a 1442,9 BTU/ft³. Estrictamente hablando, no hay una única respuesta a esta pregunta pues el índice de Wobbe es una función del poder calorífico del gas y de su densidad; siendo que estas dos son propiedades que dependen de la composición del gas, matemáticamente existe un gran conjunto de gases que pueden corresponder con los límites indicados por la CREG.

Con base en la experiencia y el conocimiento de los LNG que se comercializan actualmente, podría decirse que la composición aproximada sería la mostrada en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición aproximada para un LNG en el intervalo de números de Wobbe entre 1414,7 BTU/ft³ y 1442,9 BTU/ft³

Componente	Concentración
Metano	Inferior a 90%
Etano	Superior a 5%
Propano	Superior a 2%
C4+	Superior a 1%

Estos gases podrían tener poderes caloríficos como mínimo del orden de 1130 BTU/ft³, y valores superiores a este dato, es decir, hacia el extremo superior del límite máximo RUT (1150 BTU/ft³).

Polygon Energy desea anotar que, cuanto más alto sea el índice de Wobbe del cargamento de LNG adquirido, más drásticos serán los efectos de su envejecimiento, razón por la cual, **en ausencia de medios e infraestructura para acondicionar a través del tiempo la calidad del gas almacenado, resulta más conveniente la adquisición de gases con índice de Wobbe bajo, especialmente si la rotación del gas no va a ser alta y se estima que va a durar mucho tiempo almacenado.**

3. CONSULTA No. 2: Efectos negativos de ampliar el máximo contenido de nitrógeno en el gas

3.1 Contexto Técnico

En la industria del gas, al nitrógeno junto con el dióxido de carbono se les denomina gases diluyentes, comúnmente conocidos como “inertes”, debido a que no son combustibles. Los inertes están presentes en bajas proporciones en el gas natural, y cuando están, reducen el poder calorífico del gas. El nitrógeno es el gas que compone mayoritariamente el aire atmosférico, aproximadamente el 78% del aire está compuesto por nitrógeno, mientras que el oxígeno conforma cerca del 21%.

En ocasiones, de forma natural los yacimientos de gas poseen concentraciones elevadas de nitrógeno, por ejemplo, en los Estados Unidos el GRI estimó en 1999 que aproximadamente el 17% de las reservas de gas no podían ser aprovechadas por su alto contenido de nitrógeno, para tal propósito lideró un proyecto enfocado al desarrollo de membranas que permitieran separar el nitrógeno del gas natural a un costo viable, el objeto del proyecto era disminuir el contenido de nitrógeno hasta valores de entre el 4% y el 5%.

Desde la perspectiva de la combustión, el primer efecto que se esperaría ante un alto contenido de nitrógeno es el desprendimiento de llama (flame lifting). El desprendimiento de llama es un fenómeno que se caracteriza por el movimiento total o parcial de la base de la llama alejándose del puerto del quemador. Sucede cuando la velocidad de la mezcla aire-gas excede la de la llama, de manera que la combustión se realiza fuera del puerto del quemador. Esto puede conducir al apagado de la llama, también generar inestabilidad y ruido.

Si bien la designación de un valor máximo para el índice de Wobbe se enfoca al control de los fenómenos de combustión incompleta como las puntas amarillas, la generación de altas concentraciones de monóxido de carbono y la deposición de hollín, la designación de un valor mínimo para el índice de Wobbe se orienta a los fenómenos de desprendimiento y retroceso de llama.

Los fabricantes de gasodomésticos evalúan experimentalmente el desempeño de los equipos que fabrican. Estando el gasodoméstico reglado para un “gas de referencia”, hacen quemar diferentes gases denominados “gases límite”, uno de estos gases límite es justamente el gas límite de desprendimiento de llama. Los gasodomésticos evaluados deben estar en capacidad de quemar satisfactoriamente el gas límite de desprendimiento de llama, sin que se presenten problemas de ignición, encendido cruzado o apagado.

Para el caso de los gases de la Segunda Familia, el gas de referencia es el metano puro, el cual se denomina G20 y tiene un poder calorífico superior de 1008,8 BTU/ft³ y un índice de Wobbe de 1354,5 BTU/ft³ (ambos expresados a condiciones estándar RUT). En comparación, el gas límite de desprendimiento de llama está conformado por una mezcla de 92,5% metano y 7,5% de nitrógeno, este gas se denomina G23, tiene un poder calorífico superior de 933,0 BTU/ft³ y un índice de Wobbe de 1219,1 BTU/ft³, nótese que un gas con esta especificación no cumpliría con el máximo contenido de nitrógeno (ni con el 3% actual, ni con el 5% sugerido), tampoco con el máximo de inertes (máximo 5%), estaría por fuera del mínimo poder calorífico exigido en el RUT (950 BTU/ft³) y tampoco estaría dentro del mínimo número de Wobbe planteado en la Resolución CREG 172 de

2016 (1280 BTU/ft³) o dentro del mínimo Wobbe propuesto por el CNO-Gas para armonizar características del gas más pobre admitido en el RUT (1250 BTU/ft³).

En 2004, Advantica realizó un estudio a escala piloto en el Reino Unido, con el fin de determinar la influencia de los cambios en la calidad de un gas (por fuera de los límites admitidos regulatoriamente en el Reino Unido) sobre la operación de un conjunto de gasodomésticos seleccionados (una caldera tradicional, un quemador, una cocina, un calentador de agua de paso continuo y una caldera de condensación), siendo estos los equipos de mayor uso en el Reino Unido.

Advantica observó que al aumentar el índice de Wobbe del gas, las emisiones de CO₂, CO y óxidos de nitrógeno se incrementan, siendo que gases combustibles que contienen dióxido de carbono producen emisiones más altas que aquellos que contienen nitrógeno para el mismo índice de Wobbe.

Por otra parte, los gases de ensayo con 6% de nitrógeno, proporcionaron lecturas altas de hollín, con respecto a gases de ensayo con los mismos índices de Wobbe. Esto podría atribuirse al incremento del propano para mantener el índice de Wobbe cuando hay nitrógeno presente, sin embargo, niveles similares de propano en mezclas de gases de ensayo con dióxido de carbono mostraron niveles de hollín más bajos, lo cual podría llevar a pensar que el aumento en los niveles de nitrógeno podría incrementar la presencia de hollín en algunos equipos de combustión.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que concentraciones de nitrógeno en el gas de hasta 6% no generaron condiciones que puedan considerarse inseguras desde el punto de vista de la combustión, ni mayores emisiones de NO_x. Es importante resaltar que estos resultados se obtuvieron para índices de Wobbe tan bajos como 46 MJ/m³ (1235 BTU/ft³ aproximadamente). El aumento de la formación de los foto-oxidantes, se debía principalmente a inadecuadas prácticas de operación de los sistemas de combustión.

Otra investigación realizada por DTI en el Reino Unido, sugiere que, probablemente, no se requiere más del 5 o 7 % de nitrógeno para ajustar el índice de Wobbe en gases ricos, de manera que cumplan las especificaciones de calidad del Reino Unido. Esta conclusión surge como resultado de una serie de pruebas realizadas sobre 20 equipos domésticos probados con gases que contenían hasta 10% de nitrógeno, estando los demás parámetros de calidad dentro de cumplimiento, obteniendo como resultado un impacto modesto sobre el desempeño. Tres de los equipos evaluados exhibieron un incremento en las emisiones de CO, aunque no se responsabilizó de esto a la adición de nitrógeno, ya que otros tres equipos exhibieron un decremento. Las emisiones de CO en los demás equipos no presentaron cambios. De manera similar, en siete equipos se observó un incremento en las emisiones de NO_x, aunque no se responsabilizó de ello al nitrógeno, en tres equipos hubo un decremento y los demás no se vieron afectados.

En el mismo estudio se sugiere que el *ballasting* con nitrógeno para gases con alto poder calorífico no tiene ningún efecto perjudicial en la operatividad de los equipos, el funcionamiento de los dispositivos de seguridad de los aparatos o la eficiencia térmica de los mismos.

El proceso conocido como *ballasting* es muy popular en la industria del LNG, consiste en la inyección de nitrógeno de alta pureza para reducir el poder calorífico y el índice de Wobbe de un gas,

este método es preferido pues es más práctico que extraer GLP. Agregar nitrógeno al gas incrementa el peso molecular de la mezcla, lo cual conduce a una reducción del índice de Wobbe. No obstante, debe tenerse en cuenta que el costo del nitrógeno de alta pureza es alto, generalmente el precio del nitrógeno por tonelada puede llegar a ser incluso superior al costo por tonelada del LNG, por lo que es necesario realizar una evaluación económica previa para establecer la conveniencia de su aplicación.

De acuerdo con la información recopilada en el estudio del estado del arte sobre intercambiabilidad de gas, realizado en 2016 para el CNO-Gas no existe un consenso global acerca del contenido máximo permisible de nitrógeno, estando el rango entre el 2% y 5% molar para los países consultados.

Los efectos que tiene la restricción sobre el máximo número de Wobbe en conjunto con la especificación del máximo contenido de nitrógeno son expuestos de manera clara por Mokhatab, quien tomó como ejemplo el Estado de California en Estados Unidos para hacer referencia a la aplicación del *ballasting*.

En California, el gas debe cumplir con una especificación de índice de Wobbe de 1360 BTU/ft³, la cual corresponde con la especificación de los equipos de combustión y de generación eléctrica existentes. El LNG de Alaska es el único LNG que cumple con esta especificación sin la realización de *ballasting*. Por ejemplo, al LNG de Trinidad y Tobago se le debe añadir aproximadamente 1% de nitrógeno para cumplir con la especificación del Estado de California.

El límite de máximo 3% de nitrógeno establecido regulatoriamente en California ocasiona una restricción al ingreso de fuentes de LNG, pues no es viable técnicamente llevarlas al Wobbe de 1360 BTU/ft³ sin emplear más de 3% de nitrógeno. Esta situación ocasiona que en California solo pueden recibirse menos del 40% de las fuentes de LNG disponibles a nivel mundial.

3.2 Respuesta a la consulta

3.2.1 Efectos negativos de ampliar el contenido máximo de nitrógeno

En primer lugar, es necesario enfatizar que la ampliación en el límite de contenido de nitrógeno no afecta el límite de contenido total de inertes que está establecido actualmente en el RUT en un valor máximo de 5% (suma de nitrógeno y CO₂).

Para evitar confusiones indeseadas, es buena práctica que siempre que se haga alusión a la especificación de máximo contenido, tanto de nitrógeno como de CO₂, se exprese de manera complementaria que, además del límite individual de estos componentes, se aplica también un límite al conjunto de inertes (5%).

De acuerdo con estudios realizados sobre los efectos de adicionar nitrógeno al LNG y a gases naturales ricos, los cuales fueron llevados a cabo principalmente en el Reino Unido, no se encuentran fundamentos técnicos contundentes, sobre los cuales se pueda rechazar una ampliación del máximo contenido de nitrógeno al 5% (0% CO₂). No existen evidencias que respalden posibles efec-

tos negativos derivados del uso de gases naturales que tengan 5% de nitrógeno (0% CO₂), asumiendo que dichos gases cumplan con todas las especificaciones de calidad RUT. Se destaca que las pruebas en el Reino Unido emplearon concentraciones de nitrógeno superiores al 5% (6% y 10%).

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que existe una experiencia operativa exitosa y satisfactoria en terminales de regasificación que poseen facilidades para el *ballasting* de LNG, como por ejemplo en el Reino Unido y en Estados Unidos.

Bibliografía

- Advantica - Assessment of the impact of gas quality on the performance of domestic appliances (a pilot study), 2004
- Altfeld, K., Schley, P. - Development of natural gas qualities in Europe, 2012
- Chrétien, D. process for the adjustment of the HHV in the LNG plants
- DTI - Future arrangements for Great Britain's gas quality specifications. A public consultation, 2005
- Hernández, S., Fuentes, J., Abril, H. - Perspectiva de análisis tecnológico a los límites de especificación de la calidad del gas natural establecidos en la regulación colombiana, 2010
- IGU - Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality, 2011
- Mokhatab, S. et al. – Handbook of liquefied natural gas, 2014
- Ortiz, J.M. – Fundamentos de la intercambiabilidad del Gas Natural, 2014
- Polygon Energy - Investigación Documental Detallada sobre Intercambiabilidad de Gases, 2016
- Tannehill, C et al. - Nitrogen Removal Requirements for Natural Gas, Gas Research Institute Topical Report, 1999