



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

COMISIÓN DE CAPTACIÓN, TRANSPORTE Y TRATAMIENTO DE GAS

Sub-Comisión Índice de Wobbe

**Estudio de Situación, Ensayos y Recomendaciones sobre el Índice de Wobbe en los
Sistemas de Transporte y Distribución**

Conformación de la subcomisión:

| Apellido y Nombre: | Empresa: |
|---------------------------|-----------------|
| Alejandro Lorenzo | CAMUZZI |
| Roberto Amenta | CAMUZZI |
| Paola Moncada | CGC |
| Pamela Villar | CGC |
| Mariano Bossio | CGC |
| Carlos Casares | Consultor |
| Carlos Díaz | ECOGAS |
| Jorge Aguilar | EXXON |
| Enrique Tajitsu | METROGAS |
| Luis Mastrángelo | NATURGY |
| Adrián Galassi | TECPETROL |
| Pablo Consoli | PAE |
| Flavia Castro | PAMPA |
| Santiago Antognini | PAMPA |
| Andrés Agostinelli | PLUSPETROL |
| Ignacio Massi | PLUSPETROL |
| Joaquín Birba | SHELL |
| Mariano Pesole | SHELL |
| Cyntia D'Adamo | TGN |
| Mauricio Bortot | TGN |
| Sergio Sáez | TGN |
| Dulce Gómez | TGS |
| Marcos Jalle | TGS |
| Valeria Cler | TGS |



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

| | |
|----------------------|-------|
| Gisele Cardanopido | VISTA |
| Hernán Gross | YPF |
| Ignacio Chaparro | YPF |
| Miguel Ángel Sánchez | YPF |
| Pedro Locreille | YPF |

Invitados Colaboradores:

| Apellido y Nombre: | Empresa: |
|---------------------------|-----------------|
| Ariel Scieppaquercia | IGA |
| Axel Rozenhauz | IGA |
| Pablo Erbino | CEARE - SAACKE |
| Santiago Romero | YPF CHILE |



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

INTRODUCCIÓN:

La Ley N.º 24.076 estableció el Marco Regulatorio de la Actividad del Gas Natural y, en su artículo 50, creó el ENTE NACIONAL REGULADOR DEL GAS (ENARGAS). En el artículo 52 de la mencionada Ley, se fijaron las facultades del ENARGAS, entre las cuales se incluye la de dictar reglamentos a los que deberán ajustarse todos los sujetos de esa Ley en materia de seguridad, normas y procedimientos técnicos.

En tal sentido, el ENARGAS emitió la NORMA DE CALIDAD DE GAS NATURAL, denominada NAG-602, aprobada mediante la Resolución ENARGAS N.º 819/19, en la cual se establecen las especificaciones que debe tener el gas natural, a fin de que tenga las cualidades adecuadas para su utilización segura como combustible gaseoso. Entre estas especificaciones se encuentra el Índice de Wobbe (IW), cuyo rango fue establecido en 11300 – 12470 kcal/m³ o 47,30 – 52,20 MJ/m³.

A partir del surgimiento de la producción de gas no convencional (*tight gas* y *shale gas*) y su estímulo de parte del Gobierno Nacional empezó a enriquecerse la vena de los sistemas de transporte (disminuyendo la proporción de C₁ y aumentando en C₂, C₃ y C₄) Estos cambios de composición repercutieron en un aumento del IW cuya tendencia hace prever que alcance y supere el máximo establecido.

A partir de esta situación, se evaluó qué pasaría si se realizara la separación de C₃ y C₄, llegando a la conclusión que dicha separación no resultaría suficiente para cumplir con el límite de IW actual, siendo necesaria la separación de C₂. Debido a que la recuperación de C₂ implica la realización de proyectos de gran envergadura en la zona de producción que en el corto y mediano plazo no se vislumbran, es que la industria del gas natural en su conjunto, representados por productores de gas, licenciarios de transporte y distribución, así como también personal técnico de trayectoria y otros actores encaró el presente proyecto que contempló el estudio de la situación actual, análisis de antecedentes internacionales, recopilación de perspectivas de producción, simulación de futuros escenarios, realización de ensayos en artefactos domiciliarios, análisis y elaboración de conclusiones.

En línea con ello, se convocó al Instituto del Gas Argentino (IGA), en su calidad de Organismo Certificador inscripto en el ENARGAS, como referente para la realización de los ensayos y asesor de la subcomisión. También se realizaron consultas a otros referentes de la industria, avalados por su trayectoria técnica y conocimiento específico de los sistemas de combustión, tal el caso del Ing. Pablo Erbino (CEARE – SAACKE).



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

RESUMEN:

Ante el enriquecimiento en C₂ de los gasoductos troncales provenientes de la Cuenca Neuquina, provocado por el aumento de la producción de gas no convencional motorizada por los planes de estímulo del Gobierno, se prevé que en el corto plazo se supere el máximo establecido de Índice de Wobbe para los sistemas de transporte y distribución.

Para determinar que el consumo del gas no convencional sea seguro, se realizó la lectura de trabajos internacionales sobre el tema a partir de lo cual se concluyó que el Índice de Wobbe es un buen indicador en cuanto a la intercambiabilidad de gases y que el desarrollo de ensayos de combustión en artefactos domésticos sería una prueba determinante y concluyente.

A partir de los ensayos realizados por el IGA se pudo determinar que el funcionamiento de los artefactos domésticos funcionando con un gas de alto IW es seguro desde el punto de vista de la combustión y su funcionamiento se encuadra dentro de los parámetros de la normativa aplicable, lo cual permite extender el rango del IW desde el máximo valor actual (12.470 Kcal/m³) al máximo establecido en la Segunda Familia del Grupo H (13.070 Kcal/m³) y además ampliar el límite máximo del Poder Calorífico Superior, en línea con el aumento del IW desde 10.200 Kcal/m³ hasta 10.700 Kcal/m³.



INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

DESARROLLO:

I. El Gas No Convencional: impacto en el acondicionamiento, transporte y distribución.

El desarrollo a gran escala de la producción de gas no convencional, ubicado principalmente en la cuenca neuquina y en particular desde la Formación Vaca Muerta ha impactado tanto en los procesos de perforación y captación de dicho gas (nuevos equipos de perforación, realización de múltiples etapas de fracturas, desarrollo y producción de arenas para las fracturas, equipos desarenadores, etc.) como en los procesos de acondicionamiento y su posterior transporte y distribución.

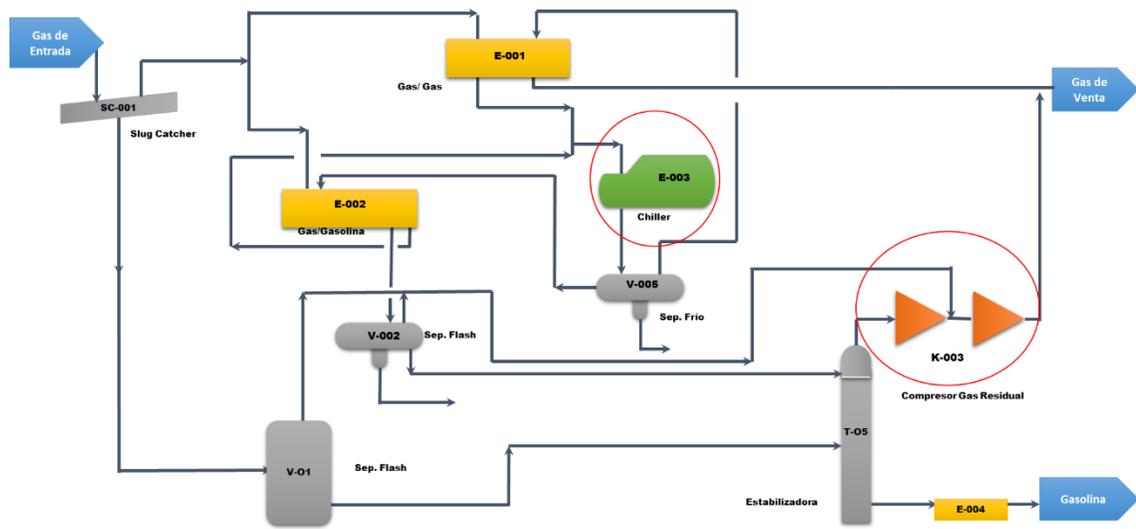
En particular, el impacto viene dado por el cambio de composición con respecto al gas convencional, el cual se manifiesta con proporciones de etano mucho mayores, el cual también es acompañado por mayores proporciones de propano y butanos.

Con este contexto, las plantas de acondicionamiento han podido cumplir con su función en cuanto a la separación de los componentes más pesados (C_{5+}) pero se han visto comprometidas con el manejo del gas de reciclo que se produce con las mayores proporciones de C_3 y C_4 , que impactan tanto en el IW como en el PCS del gas de salida de planta.

También las plantas de procesamiento, aquellas que son capaces de separar C_2 y C_{3+} , se han visto afectadas ya que, más allá de poder separar dichos componentes, poseen una capacidad de diseño máxima para el manejo de éstos, lo cual, en algunos casos, las ha llevado a tener que reducir el caudal de procesamiento debido al cuello de botella generado por el enriquecimiento producido por el gas no convencional.

Considerando el diagrama de flujo de una planta de acondicionamiento típica de refrigeración mecánica, hay dos puntos en donde el proceso es impactado por la composición del gas no convencional:

- Chiller* (intercambiador gas-propano)
- Compresor de reciclo (gas del tope de la torre estabilizadora de gasolina)





**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

Planta Acondicionamiento – Gas Convencional:

| Compresor de Propano | | | |
|--|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Potencia 1ra Etapa (HP) | Potencia 2da Etapa (HP) | Potencia Total (HP) | Q C ₃ (Kg/h) |
| 222 | 166 | 388 | 12.020 |
| Temperatura del gas en <i>Chiller</i> (°C) | | | -12 |
| Compresor de Gas Residual | | | |
| Potencia 1ra Etapa (HP) | Potencia 2da Etapa (HP) | Potencia Total (HP) | Q Gas (m3/d) |
| 103 | 89 | 192 | 59.800 |
| Gas Salida de Planta | | | |
| Prod. Gasolina (m3/d) | PRHC@5500KPa (°C) | PCS (Kcal/m3) | IW (Kcal/m3) |
| 202 | -4 | 9.877 | 12.265 |

Planta Acondicionamiento – Gas No Convencional:

| Compresor de Propano | | | |
|--|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Potencia 1ra Etapa (HP) | Potencia 2da Etapa (HP) | Potencia Total (HP) | Q C ₃ (Kg/h) |
| 655 | 405 | 1.060 | 22.400 |
| Temperatura del gas en <i>Chiller</i> (°C) | | | -23 |
| Compresor de Gas Residual | | | |
| Potencia 1ra Etapa (HP) | Potencia 2da Etapa (HP) | Potencia Total (HP) | Q Gas (m3/d) |
| 508 | 567 | 1.075 | 388.080 |
| Gas Salida de Planta | | | |
| Prod. Gasolina (m3/d) | PRHC@5500KPa (°C) | PCS (Kcal/m3) | IW (Kcal/m3) |
| 252 | -4 | 10.674 | 12.942 |

Como puede observarse, la afectación en el *chiller* implica una temperatura mucho menor (pasa de -12°C a -23°C) implicando un incremento de la potencia del compresor de propano en más del doble (de ~400 HP a ~1000 HP) y en consecuencia una mayor demanda de aroenfriadores para la condensación del propano. En cuanto al compresor de gas residual, en este equipo se quintuplica la potencia (de ~200 HP a ~1100 HP).

Finalmente, aun suministrando los mayores requerimientos de potencia instalada y volumen de equipos y cañerías, se cumple con el PRHC pero no así con el PCS ni con el IW actuales.

Asimismo, no menos importante es la cuestión relacionada con la ubicación del Gas No Convencional que, como ya dijimos, se ubica en la Cuenca Neuquina y la misma, se localiza en una posición casi equidistante del Océano Pacífico (450 Km hasta Concepción -Chile-) y del Mar Argentino (550 Km hasta Bahía Blanca). Esta ubicación implica que sólo podría



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

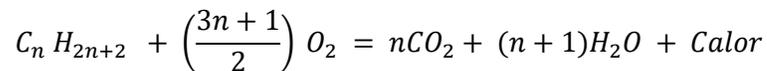
plantearse un proyecto de separación de etano que resolviera la afectación del IW y del PCS sí y solo sí la misma se localizara en la propia Cuenca Neuquina, debiendo colectar todas las corrientes ricas en etano. Sólo un proyecto con estas características podría dar solución a la cuestión del aumento del IW. Considerando que un proyecto de estas características, por envergadura, ubicación y requerimiento de evacuación de productos (poliducto dedicado para el etano y LPG) es muy poco probable su realización en el corto y mediano plazo, es que hay que considerar que el gas que se transporte y distribuya con epicentro en la cuenca neuquina tendrá IW y PCS más allá de los límites actuales.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, es que se conformó la Subcomisión de Índice de Wobbe, en el seno del IAPG, a la cual se convocó a los Productores de gas, en representación del *upstream* en su conjunto, a las Transportistas de gas y a las Distribuidoras de gas, en representación del *downstream* (usuarios finales).

II. Principio de funcionamiento de la combustión del gas.

El proceso de combustión de todo hidrocarburo consiste en la reacción química de oxidación en la que un combustible (HC) interacciona con un comburente (O_2) produciendo Calor, Dióxido de Carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O). El proceso es rápido y va acompañado de un gran aumento de temperatura y de emisión de luz (llama).

La ecuación que representa este proceso, para cualquier hidrocarburo, es la siguiente:



Los combustibles son sustancias que pueden proporcionar energía calorífica apta para producir trabajo mecánico, estas sustancias contienen energía químicamente almacenada, proveniente de las fuerzas que mantienen unidos a los átomos que componen al combustible y cuando se libera lo hace en forma de luz y calor.

El comburente es el material que hace entrar en combustión a un combustible. El comburente esencial en toda combustión es el oxígeno, sin éste, sería casi imposible llevar a cabo una reacción de combustión.

Para lograr una combustión completa de un combustible; en la cual los productos de la combustión son prácticamente vapor de agua y dióxido de carbono, además de proporcionar una llama poco luminosa y de gran poder calorífico; es necesario que haya exceso de comburente (oxígeno).

La combustión incompleta, por defecto de comburente (oxígeno), además de dióxido de carbono y vapor de agua, produce carbono (C), monóxido de carbono (CO)¹ y otros productos intermedios. La combustión incompleta da origen a llamas de bajo poder calorífico y altamente luminosas (debido a la incandescencia de las partículas de carbono

¹ El CO es inodoro, incoloro y tóxico. Su toxicidad se corresponde con el hecho que, al inhalar CO, éste forma un compuesto estable con la hemoglobina de la sangre y la va bloqueando, anulando los puntos de anclaje del O_2 y del CO_2 . Cada molécula de hemoglobina que enlaza con CO queda permanentemente bloqueada para el transporte de oxígeno. La hemoglobina es la responsable de transportar el O_2 y el CO_2 en la sangre. Toma O_2 en los pulmones y lo libera en las células de los órganos y tejidos. De regreso al pulmón trae el CO_2 que se produce en el metabolismo celular.



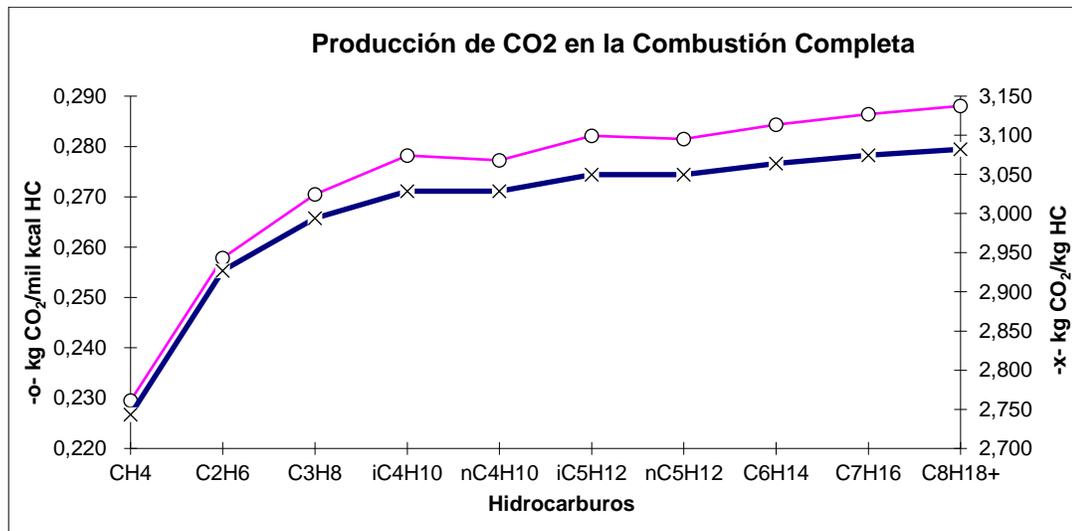
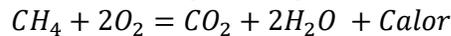
INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

que se producen).

En general, los parámetros que interesa controlar en un proceso de combustión son:

- **Eficiencia:** que se quemé completamente y se libere toda la energía.
- **Intensidad:** que la potencia liberada por unidad de volumen de la reacción sea la mayor posible.
- **Estabilidad:** que no se apague con las fluctuaciones normales de temperatura, presión, composición y otros 'ruidos'.
- **Contaminación (llama higiénica):** que no produzca CO, hollín (carbono), aldehídos, ni óxidos de alta temperatura (NO_x), ni óxidos de impurezas (SO_x).

Si bien el gas natural es un combustible fósil y como tal produce CO₂ en la combustión, al ser mayoritariamente metano, de los hidrocarburos es el que menos CO₂ produce, tanto por unidad de masa como por unidad de energía entregada en la combustión.



- **Entalpía de Combustión (calor generado):** La entalpía de enlace y la entalpía de reacción o combustión ayudan a comprender cómo se usa la energía en las reacciones en un sistema químico. La entalpía de enlace describe cuánta energía se necesita para romper o formar un enlace, y es también una medida de la fuerza del enlace. Al combinar los valores de entalpía de enlace para todos los enlaces rotos y formados durante una reacción, es posible estimar el cambio total en la energía potencial del sistema para una reacción a presión constante (entalpía de combustión). Dependiendo de si la entalpía de la reacción es positiva o negativa, podemos determinar si una reacción es endotérmica (absorbe calor) o exotérmica (genera calor).



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

| Componente | kcal/mol | kJ/mol |
|--------------------------------|------------------------|---------|
| | Entalpía de combustión | |
| CH ₄ | -191,8 | -802,7 |
| C ₂ H ₆ | -341,4 | -1428,8 |
| C ₃ H ₈ | -488,2 | -2043,4 |
| C ₄ H ₁₀ | -635,0 | -2657,6 |
| C ₅ H ₁₂ | -781,8 | -3272,0 |
| C ₆ H ₁₄ | -928,7 | -3887,2 |
| | Entalpía de enlace | |
| H-H | 104,2 | 436,0 |
| C-H | 99,2 | 415,0 |
| C-C | 82,9 | 347,0 |
| C-O | 84,1 | 352,0 |
| H-O | 109,9 | 460,0 |

- Poder calorífico: es una de las propiedades más utilizadas para valorar un combustible y se define como la cantidad de calor liberada en la combustión completa en aire de la unidad de masa de un combustible, y se mide en [kcal/kg] o [MJ/kg]. Para los gases se mide por unidad de volumen en condiciones de referencia o estándar (15°C y 101,325 kPa), siendo entonces las unidades [kcal/m³_s] o [MJ/m³_s]. En definitiva, es la Entalpía de Combustión. Podemos diferenciar el Poder Calorífico Superior (PCS) como aquel que incluye el calor de condensación del vapor de agua de los gases de la combustión y el Poder Calorífico Inferior (PCI) como aquel que no incluye el calor absorbido por el agua producida en la combustión, que en forma de vapor se lleva como calor de vaporización.

$$PCI = PCS - mv \cdot \lambda_{cond}$$

mv: masa de agua/kg combustible; λ_{cond} : calor de condensación del agua

La relación PCI/PCS depende de la proporción de los elementos de carbono e hidrógeno en el combustible. Para los gases combustibles empleados normalmente (metano, etano, propano y butano) el valor de PCI/PCS es de aproximadamente de 0,9.

- Índice de Wobbe: es una medida de la posibilidad de sustituir un combustible gaseoso por otro en un mismo quemador, conservando las condiciones óptimas de funcionamiento. Dos combustibles gaseosos son intercambiables cuando pueden utilizarse indistintamente en una misma red o instalación sin modificaciones, en las mismas condiciones de caudal y presión, sin necesidad de realizar ningún reglaje ni alteración en el sistema. Se mantienen:
 1. La potencia calorífica
 2. La combustión higiénica: nivel de %CO y sin que se produzca hollín
 3. La estabilidad de la llama, sin que se produzca:
 - ✓ Desprendimiento de llama: $v_f > v_p \rightarrow$. La llama se aleja progresivamente de la boquilla del quemador, hasta extinguirse por soplado.
 - ✓ Retroceso de llama: $v_f < v_p$. La llama retrocede progresivamente hacia la boquilla del quemador.



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

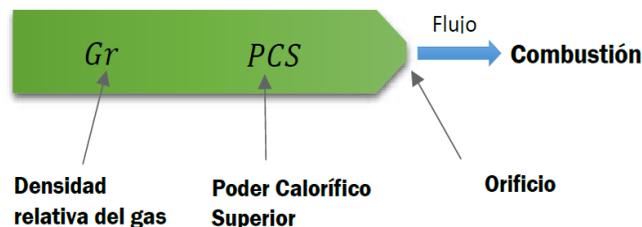
quemador, hasta extinguirse.

Donde: V_f = velocidad del frente combustible-aire y

V_p = velocidad de propagación de la llama

El índice de Wobbe se define como la relación entre el poder calorífico (inferior o superior) de un gas por unidad de volumen y la raíz cuadrada de su densidad relativa con respecto al aire, bajo las mismas condiciones de referencia.

$$IW = \frac{\text{Poder Calorífico}}{\sqrt{\text{densidad relativa}}}$$



Los gases combustibles se clasifican en 3 familias, según un rango de índices de Wobbe, a nivel internacional podemos encontrar los siguientes rangos para cada familia:

- Gases manufacturados (Primera familia): IW entre 5.350 y 6.690 kcal/m³_s (22,4 y 28 MJ/m³_s)
- Gases naturales (Segunda familia): IW entre 9.200 y 13.140 kcal/m³_s (38,5 y 55 MJ/m³_s)
- Gases licuados de petróleo (Tercera familia): IW entre 17.420 y 20.910 kcal/m³_s (72,9 y 87,5 MJ/m³_s)

En la Argentina, la NAG-301 (2006) prevé, para los gases naturales del Grupo H de la Segunda Familia (45,7 MJ/m³ - 54,7 MJ/m³) un rango de índice de Wobbe acotado entre 47,3 MJ/m³ y 52,2 MJ/m³, de acuerdo con la Reglamentación de Calidad de Gas².

Desde un punto de vista práctico, los gases de la misma familia son intercambiables, es decir tienen un comportamiento similar en los quemadores produciendo los mismos resultados de combustión (el mismo flujo calorífico y el mismo tipo de llama, emisión de gases similares) sin necesidad de adaptar los quemadores.

III. Evolución del Índice de Wobbe a nivel mundial.

Se relevó la composición de las principales terminales de exportación de LNG, con el fin de contar con un panorama de estas³. En la tabla siguiente se muestra el IW para cada una de ellas:

| Origen | Índice de Wobbe [kcal/m ³] | C ₁ [% molar] | C ₂ [% molar] | C ₃₊ [% molar] | N ₂ [% molar] |
|--------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|--------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|

² A la postre reemplazada por la NAG-602 (2019).

³ The LNG industry - GIIGNL (International Group of LNG Importers) ANNUAL REPORT 2018.



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

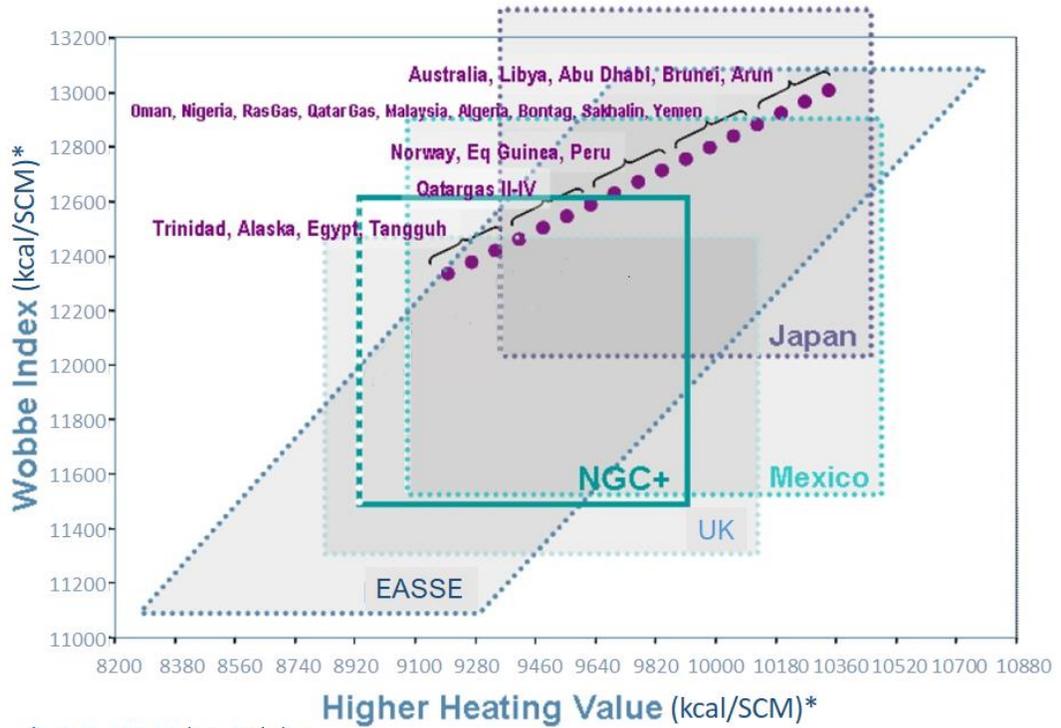
| | | | | | |
|-------------------|--------|-------|-------|------|------|
| Australia-NWS | 13.502 | 87,33 | 8,33 | 4,30 | 0,04 |
| Brunei | 13.418 | 90,12 | 5,34 | 4,50 | 0,04 |
| Indonesia-Badak | 13.416 | 90,14 | 5,46 | 4,38 | 0,01 |
| Australia-Darwin | 13.378 | 87,64 | 9,97 | 2,29 | 0,10 |
| Oman | 13.311 | 90,68 | 5,75 | 3,36 | 0,20 |
| Malaysia-Bintulu | 13.277 | 91,69 | 4,64 | 3,53 | 0,14 |
| Nigeria | 13.256 | 91,70 | 5,52 | 2,75 | 0,03 |
| Russia-Sakhalin | 13.239 | 92,55 | 4,47 | 2,92 | 0,07 |
| Indonesia -Arun | 13.237 | 91,86 | 5,66 | 2,39 | 0,08 |
| Qatar | 13.232 | 90,91 | 6,43 | 2,40 | 0,27 |
| Algeria-Arzew | 13.191 | 88,93 | 8,42 | 1,96 | 0,71 |
| Algeria-Bethioua | 13.165 | 89,55 | 8,20 | 1,61 | 0,64 |
| Peru | 13.137 | 89,07 | 10,26 | 0,11 | 0,57 |
| Norway | 13.115 | 92,03 | 5,75 | 1,76 | 0,46 |
| Yemen | 13.115 | 93,17 | 5,93 | 0,89 | 0,02 |
| Equatorial Guinea | 13.072 | 93,41 | 6,52 | 0,07 | - |
| Algeria-Skikda | 13.046 | 91,40 | 7,35 | 0,62 | 0,63 |
| Egypt-Idku | 13.043 | 95,31 | 3,58 | 1,08 | 0,02 |
| Trinidad | 12.953 | 96,78 | 2,78 | 0,43 | 0,01 |
| Indonesia-Tangguh | 12.931 | 96,91 | 2,37 | 0,59 | 0,13 |
| Egypt-Damietta | 12.926 | 97,25 | 2,49 | 0,24 | 0,02 |
| USA-Alaska | 12.781 | 99,71 | 0,09 | 0,04 | 0,17 |

Es dable destacar que, de las 22 terminales relevadas, sólo 7 se encuentran dentro del límite máximo de la Familia H (13070 kcal/m^3) y ninguna por debajo de la especificación actual (12470 kcal/m^3)

También se realizó un relevamiento de los rangos de Poder Calorífico e Índice de Wobbe utilizados en distintas partes del mundo y en particular en Europa, los cuales se resumen en los siguientes gráfico y tabla:



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**



Índice de Wobbe en Brasil:

| Zonas | Índice de Wobbe | | | |
|-----------------------------|--|--------|--|--------|
| | a 20°C y 101.325 kPa [kJ/m ³] (*) | | a 15°C y 101.325 kPa [kcal/m ³] | |
| | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| Norte | 40.500 | 45.000 | 9.850 | 10.940 |
| Noreste | 46.500 | 53.500 | 11.310 | 13.010 |
| Centro-Oeste, Sudeste y Sur | 46.500 | 53.500 | 11.310 | 13.010 |

(*) ANP: Agencia Nacional De Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles – Brasil Resolución ANP N°8 30.01.2015



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

EN437: European Standard - Gases - Classification – Gases Family

Compendio de Familias de Gas y Grupos en función del Índice de Wobbe:

| Gas families and groups | Gross Wobbe index at 15 °C and 1 013,25 mbar | |
|-------------------------|--|---------------|
| | MJ/m ³ [kcal/m ³] | |
| | minimum | maximum |
| First family | | |
| — Group a | 22,4 [5.350] | 24,8 [5.930] |
| Second family | | |
| — Group H | 39,1 [9.340] 45,7 [13.070] | 54,7 [13.070] |
| — Group L | 39,1 [9.340] | 44,8 [10.700] |
| — Group E | 40,9 [9.770] | 54,7 [13.070] |
| Third family | | |
| — Group B/P | 72,9 [17.420] 72,9 [17.420] | 87,3 [20.860] |
| — Group P | 72,9 [17.420] | 76,8 [18.350] |
| — Group B | 81,8 [19.540] | 87,3 [20.860] |

IV. Situación actual de Índice de Wobbe en Argentina y perspectivas futuras.

La Tabla 1 de la NAG-602 fija un rango para el IW de 11300 – 12470 kcal/m³ o 47,30 – 52,20 MJ/m³. Estos máximos y mínimos se encuentran dentro del rango de la Segunda Familia del Grupo H de gases, cuyo rango para el IW es 10917 – 13070 kcal/m³ o 45,70 – 54,70 MJ/m³.

| Índice Wobbe | NAG 602 | | Segunda Familia Grupo H | | Propuesta a evaluar | |
|---------------------|---------|--------|-------------------------|--------|---------------------|--------|
| Kcal/m ³ | 11.300 | 12.470 | 10.917 | 13.070 | 11.300 | 13.070 |
| MJ/m ³ | 47,30 | 52,20 | 45,70 | 54,70 | 47,30 | 54,70 |

Revisando la evolución de la calidad del gas en los gasoductos troncales (Anexo A), los datos muestran comportamientos particulares para cada uno de los gasoductos.

Gasoducto San Martín: se ha mantenido relativamente estable, oscilando el IW entre 12.000 y 12.300 kcal/m³ y el PCS entre 9.400 y 9.800 kcal/m³. Esta oscilación se debió principalmente al inicio de operaciones de una planta de procesamiento en cabecera y a desarrollos de yacimientos que luego compensaron el empobrecimiento producido por dicha planta.

Gasoducto NEUBA II: se distinguen tres claras regiones, la primera caracterizada por el empobrecimiento de la vena a raíz del inicio de operaciones de una planta de procesamiento en cabecera, luego una segunda región donde se produce un claro escalón de



INSTITUTO ARGENTINO DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

enriquecimiento que luego declina a lo largo del tiempo hasta que, en la tercera región, se manifiesta el progresivo pero constante enriquecimiento debido a la presencia del gas no convencional.

Tramos finales – Ezeiza: En este caso se reflejan los efectos mencionados en el Gasoducto NEUBA II en forma atenuada (empobrecimiento y luego enriquecimiento) aunque surge luego un efecto de variación estacional marcada, con picos durante el invierno y valles en el verano. Finalmente, también manifiesta un progresivo enriquecimiento, superando los máximos históricos anteriores (~12.250 kcal/m³).

Tramos finales – Pacheco: al igual que Ezeiza, se manifiesta la variación estacional a partir del 2007, también con un progresivo enriquecimiento manifestado por un aumento de los mínimos de los valles.

Gasoducto Centro Oeste: se distinguen dos claras regiones, la primera caracterizada por un gas de IW entre 11.600 y 12.200 kcal/m³ y PCS entre 8.900 y 9.500 kcal/m³, seguida por una segunda región que comienza aproximadamente a inicios del 2018, en donde se manifiesta el progresivo y constante enriquecimiento debido a la presencia del gas no convencional.

Gasoducto Norte: se ha mantenido relativamente estable, oscilando el IW entre 11.800 y 12.200 kcal/m³ y el PCS entre 9.200 y 9.800 kcal/m³. Esta oscilación se debe principalmente a la puesta en servicio o salida de servicio de las plantas de turboexpansión del principal aporte al gasoducto.

Para esbozar cuales serían las perspectivas futuras en cuanto a la evolución de la calidad del gas de los gasoductos que transportan el gas natural producido en la Cuenca Neuquina, se buscó valorizar de alguna manera lo que representa el recurso del gas no convencional en la Argentina. Desde el artículo *Oportunidad Shale* del micrositio del IAPG “*Shale en Argentina*” se extrajo la siguiente imagen con su texto asociado:



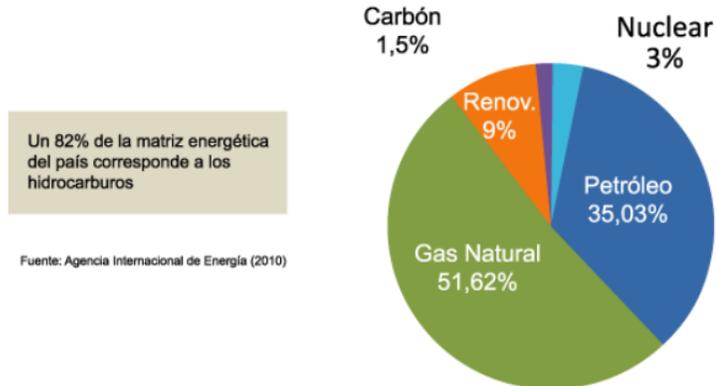
Como vemos, para Vaca Muerta se han estimado 308 TCF, de los 802 TCF totales. ¿Qué significa esa cifra? Si comparamos Vaca Muerta con el megayacimiento de gas Loma de la Lata, descubierto en los años 80 y responsable de la matriz energética mayoritariamente gasífera de nuestro país, veremos que los recursos estimados para esa formación equivalen a cerca de 30 yacimientos similares a Loma de la Lata. Esto da una idea de la magnitud del recurso.



INSTITUTO ARGENTINO DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

Por otro lado, en cuanto a la demanda de energía, el mismo artículo muestra que Argentina posee una matriz energética fuertemente basada en hidrocarburos (82%) en la cual, el gas natural participa en más de la mitad de la misma (51,6 %):

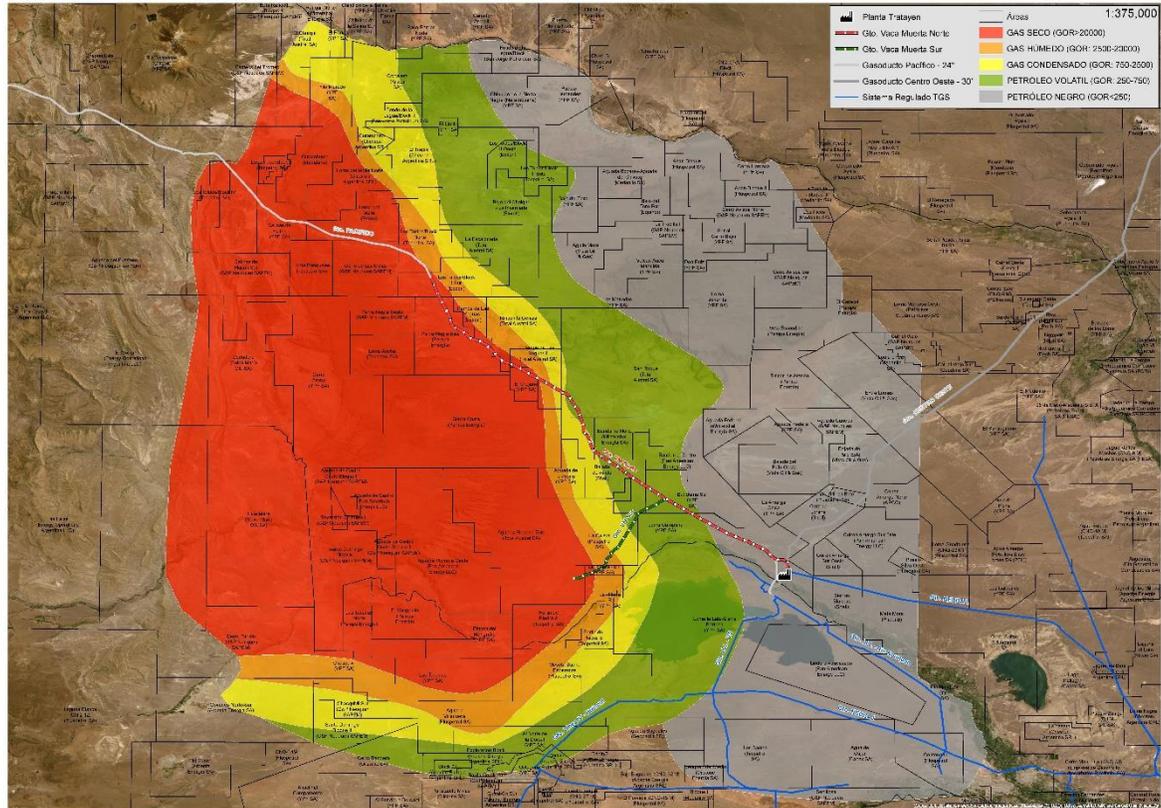
Demanda de energía (Argentina)



Esto nos lleva a pensar que la producción del gas no convencional va a continuar y que, siendo que la ventana del gas seco (*Dry Gas*) es la más lejana a los gasoductos de captación, es que al igual que la producción actual, la futura producción de gas no convencional continúe drenando zonas de crudo (*Oil*), gas húmedo y condensado (*Wet Gas/Cond*), las cuales tienen el atractivo para el productor del mayor valor energético aportado tanto por el gas natural como por los líquidos obtenidos.

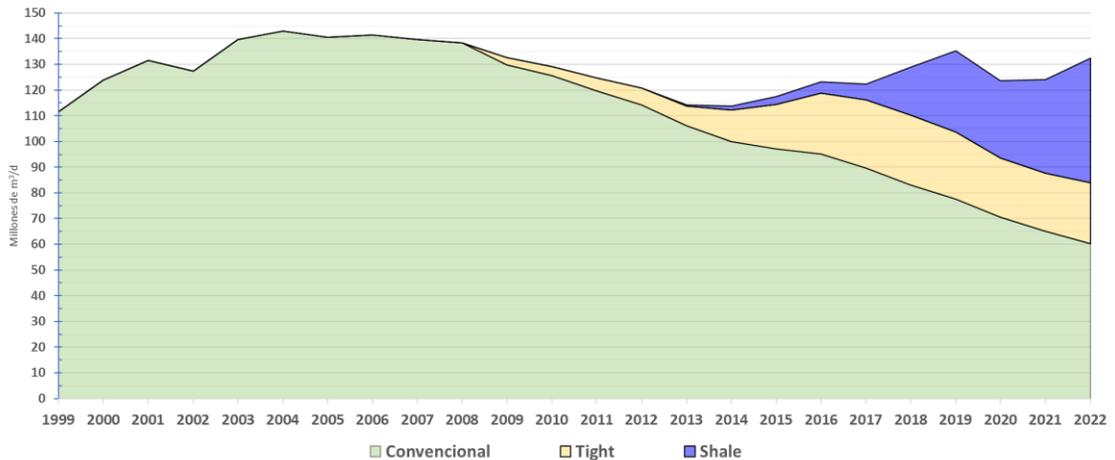


**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**



La producción de gas natural en la Argentina logra un pico máximo entre los años 2004, 2005 y 2006, con valores de hasta 143 MM m³/d (2004).

PRODUCCIÓN GAS NATURAL ARGENTINA



Luego de ello se produce una declinación del gas convencional ante lo cual, en los sucesivos años, se implementan una serie de planes de estímulo a la producción de gas, a saber:

- Gas Plus (2008): creado por la Res. 24/2008 de la Secretaría de Energía. Su objetivo fue el estímulo a la producción de nuevos volúmenes adicionales a los



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

comprendidos en el Acuerdo con los Productores de Gas Natural 2007 – 2011 homologado por Resolución SE 599/07 (el “Acuerdo”). El Programa se enfocó en aquellos desarrollos de productores que hubiesen firmado el Acuerdo y que se trataran de:

- i) descubrimientos posteriores a la creación del programa,
- ii) anteriores siempre que se tratase de *tight gas* ó
- iii) yacimientos descubiertos con posterioridad a la entrada en vigencia de la Resolución y ubicados en formaciones geológicas que no estuviesen ni hayan estado en producción en la Concesión otorgada.

El precio de cada proyecto presentado a la Secretaría de Energía de La Nación (“SE”) se determinaba para cada caso particular, contemplando la solvencia de los costos asociados para el desarrollo y de obtener una rentabilidad razonable. Si bien no logró revertir la caída de la producción, fue un incentivo para desarrollar proyectos no convencionales (*tight*).

- Plan Gas I y II (2013):

Plan Gas I creado por la Res. 01/2013 con una vigencia de 5 años.

Se establecía una producción base, ajustada por una tasa de declino (negociada entre el productor y la SE), y se reconocía un precio de 7,5 USD/MMBTU por la inyección excedente (por sobre la base ajustada), resultando el incentivo como $\text{Compensación} = \text{Inyección Base Aj.} \times \text{Precio Base} + \text{Inyección Excedente} \times \text{Precio Inyección Excedente} - \text{Inyección Total} \times \text{Precio Promedio de Venta}$.

Plan Gas II creado por la Res. 60/2013 con una vigencia de 4 años.

Se consideraba a productores con inyección base menor a 3,5 MMm³/d y se ajustaba la misma con una tasa de declino del 85%. A diferencia del Plan Gas I, la producción excedente se calcula en función del volumen de inyección y curvas de ajuste de la inyección base (+0%, -5%, -10% y -15%), estableciéndose precios dependiendo de en qué rango se ubique la producción excedente dentro de estas curvas (zonas de 4, 5, 6 y 7,5 USD/MMBTU) resultando el incentivo como $\text{Compensación} = \text{Inyección Base Aj.} \times \text{Precio Base} + \text{Inyección Excedente} \times \text{Precio Inyección Excedente} - \text{Inyección Total} \times \text{Precio Promedio de Venta}$.

Los Planes Gas I y II lograron detener y revertir la tendencia decreciente de producción.

- Plan Gas III (2016): creado por la Res. 74/2016 con vigencia hasta 31/12/2018.

Dirigido a nuevos proyectos con explotación posterior a Plan Gas I, no incluidos en Plan Gas I y II y que sean desarrollos de *tight gas* o *shale gas*. $\text{Compensación} = \text{Inyección Nuevos Proyectos} \times \text{Precio Garantizado (7,5 USD/MMBTU)}$.

- Resolución SE 46/2017 (2018): creado por la Resolución 46/2017, con vigencia desde 2018 al 2021 ambos inclusive.

Dirigido a aquellas concesiones de gas no convencional que cuenten con un plan de inversión específico para su participación en el programa, aprobado por la autoridad de aplicación provincial y la Secretaría de Energía. $\text{Compensación} = \text{Inyección Proyectos No Convencional} \times [\text{Precio Garantizado} - \text{Precio Promedio Ponderado total de cada empresa al mercado interno}]$.

Precio Garantizado de (i) 7,50 USD/MMBTU para el año 2018, (ii) 7,00 USD/MMBTU para el



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

año 2019, (iii) 6,50 USD/MMBTU para el año 2020 y (iv) 6,00 USD/MMBTU para el año 2021. Este programa de incentivos permitió ampliar la producción de gas no convencional de Vaca Muerta y recuperar niveles de producción superiores a los conseguidos en otros planes, superando la producción del 2007.

- Plan Gas.Ar (2021): aprobado por el DNU 892/2020, con vigencia desde el 2021 al 2024 ambos inclusive.

Su objetivo fue generar un marco de previsibilidad y contractualizar la producción de gas con una base de 70 MMm³/d para asegurar el abastecimiento de la demanda prioritaria y de usinas, así como sustituir parte de las importaciones de GNL y reemplazar la utilización de combustibles líquidos, a través de acuerdos por al menos cuatro años, creando asimismo un nuevo marco de fijación de precios de largo plazo. La adjudicación de dichos contratos se efectuó mediante el precio del gas ofertado por cada Productor en el PIST, que surgió del Concurso Público realizado a tal fin. Dado que los volúmenes ofertados por los productores resultaron insuficientes para cubrir las proyecciones de consumo interno para los períodos invernales de los años 2021 a 2024, el 22 de febrero de 2021 la Secretaría de Energía emitió la Resolución N° 129/2021 mediante la cual convocó a la Ronda 2 del Concurso mencionado para la adjudicación de volúmenes de gas natural adicionales a los adjudicados en la Ronda 1, por cada uno de los períodos invernales de los años 2021 a 2024, en las condiciones de precio ofertadas en dicha Ronda.

Adicionalmente, el 21 de octubre de 2021, a través de la Resolución N° 984/2021 de la Secretaría de Energía, se convocó a Concurso Público Nacional correspondiente a la Ronda 3 del Plan Gas.Ar IV, para la adjudicación de volúmenes de gas natural adicionales a los ya adjudicados. Con la Ronda 3 el Estado Nacional buscó volúmenes flat anuales adicionales para el segmento Residencial en invierno y Generación en verano.

El Plan Gas.Ar fue muy positivo para la industria, al lograr recuperar la declinación de la producción e incluso en la actualidad saturar los gasoductos de la cuenca neuquina, dando paso a la siguiente etapa, que es la ampliación de los sistemas de evacuación troncales.

Adicionalmente, debemos mencionar que el ingreso de gas con índice de Wobbe superior a la especificación de calidad de gas actual ha ocurrido al sistema de transporte argentino (barcos regasificadores en muelle MEGA -Ba.Bca.- y muelle Escobar) (Anexo A).

En el caso del muelle de MEGA, el gas proveniente del barco alimentó en forma directa un consumo industrial que utiliza el gas tanto como combustible como materia prima. Esta industria realizó los ajustes necesarios en su proceso lo que le permitió funcionar con normalidad. Aguas abajo de esta industria, el gas del barco, al ingresar al sistema de transporte se mezcló con gas de corrección lo que normalizó su especificación.

En el caso del muelle de Escobar, el gas proveniente del barco ingresó en forma directa al sistema de transporte que, dependiendo de diferentes condiciones operativas, permitió que en general se mezcle con otra corriente en forma previa a su entrega a distribución.

V. **Revisión bibliográfica a nivel mundial.**

Los integrantes de la subcomisión realizaron la lectura de diversos *papers* que luego fueron



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

comentados en las reuniones. Los principales conceptos de los documentos estudiados se detallan en el **Anexo B**. El listado evaluado se detalla a continuación:

1. European Turbine Network - Position Paper: The Impact of Natural Gas Quality on Gas Turbine Performance
2. Kuala Lumpur 2012 World Gas Conference - Gas quality variation impact on gas appliances in Japan: a status report. Tatsuo Kume - Toshikuni Ohashi. Energy Engineering Dept. Osaka Gas Co., Ltd.
3. International Gas Union Research Conference 2014 - Study for the gas interchangeability of natural gas utilization equipment regarding the variation of heating value. Hyunseok You, Joongseong Lee, Jaeyoung Her.
4. International Gas Union Research Conference 2014 - LNG Interchangeability— Residential Field Studies and Sensitive Industrial Burner Tests. Neil Leslie - presenter R&D Director, End Use Solutions Gas Technology Institute.
5. White paper on Natural Gas Interchangeability and Non-Combustion End Use (NGC+ Interchangeability Work Group)
6. MARCOGAZ – Technical Association of the European Natural Gas Industry. MAIN EFFECTS OF GAS QUALITY VARIATIONS ON APPLICATIONS
7. Gas Interchangeability Testing Report
Report Prepared for: Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute (AHRI) - American Gas Association (A.G.A.) - Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM).
November 12, 2009 - Date of Testing: February 2008 to April 2009
8. GAS QUALITY HARMONISATION IS KEY FOR SECURITY OF SUPPLY AND COMPETITIVENESS OF GAS. By François CAGNON, GDF SUEZ, Convenor of CEN BT WG 197 and Daniel HEC, Secretary General of Marcogaz, the Technical Association of the European natural Gas Industry.
9. World Gas Conference Paris 2015 - Gas Interchangeability Study and Resulting NYSEARCH RANGE™ Model for Installed Residential Appliances - Daphne D’Zurko, Charles Benson.
10. Fundamentos de la INTERCAMBIABILIDAD del Gas Natural - Juan Manuel Ortíz (juan.ortiz@polygon.com.co) Polygon Energy - Bucaramanga - Santander - Colombia
11. Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality – 2011 - Published by BP in association with the IGU.
12. INFORME ESTADO DEL ARTE INTERCAMBIABILIDAD DE GASES A NIVEL INTERNACIONAL - Investigación Documental Detallada sobre Intercambiabilidad de Gases - Consejo Nacional de Operación de Gas Natural (CNO-Gas). Juan Manuel Ortiz Afanador, Liliana Valero Alvarado.
13. White paper on Natural Gas Interchangeability and Non-Combustion End Use (NGC+ Interchangeability Work Group).

A partir de las lecturas de los trabajos y el intercambio de opiniones en las sucesivas reuniones, se obtuvieron una serie de pautas, las cuales se detallan a continuación:

- a) Existen una variedad de casos que ya se han enfrentado a la problemática de



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

enriquecimiento del gas natural distribuido, debido a diversas circunstancias (nuevos yacimientos, ingresos de cargamentos de GNL)

- b) El IW es un buen predictor en la intercambiabilidad de gases.
- c) Para tener plena certeza del comportamiento de los artefactos hay que realizar ensayos sobre los mismos.
- d) En ensayos realizados se ha determinado que los artefactos domésticos no son afectados en su comportamiento, aunque muestran variaciones en cuanto a la generación de CO dentro de los límites normados; en artefactos de combustión industriales no se evidenciaba afectación, ni en comportamiento ni, en varios casos, en generación de CO; con respecto a automóviles no se detectaron inconvenientes; finalmente, en usos industriales, como la industria del vidrio y de metales se recomienda el uso de sistemas de control y en generación eléctrica, debido a los sistemas de control que poseen las turbinas, no hubo afectación.
- e) Los artefactos domésticos que se encuentran bien mantenidos y ajustados son menos sensibles a los cambios de composición, en contraposición a aquellos que no lo están.
- f) Se recomienda que la variación de un IW determinado a otro se realice en forma gradual, con el fin de permitir el ajuste de los artefactos domésticos durante esa transición.
- g) La certificación de artefactos domésticos resulta conveniente que se realice no sólo para la composición habitual de la zona, sino que se contemple todo el rango de IW.
- h) Aquellos consumos que utilizan el gas natural como materia prima deben realizar el tratamiento adecuado de acuerdo con sus necesidades. Se privilegia el interés común antes que el particular.
- i) Alemania, España, Holanda y Austria poseen rangos de IW amplios, debido a las múltiples fuentes de aprovisionamiento con composiciones diferentes.

VI. Composición utilizada para los ensayos.

Con el fin de determinar cual sería la o las composiciones adecuadas para realizar los ensayos de los artefactos, se realizó un relevamiento de composiciones de pozos exploratorios de la cuenca neuquina.

A continuación, se muestran con una identificación ficticia (FVM: Formación Vaca Muerta - por razones de confidencialidad de la información) y ordenadas por IW, de mayor a menor:

| Origen | Índice de Wobbe [kcal/m ³] | C ₁ [% molar] | C ₂ [% molar] | C ₃₊ [% molar] | N ₂ [% molar] | CO ₂ [% molar] |
|---------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| FVM-015 | 14.369 | 63,63 | 16,00 | 19,47 | 0,5864 | 0,3063 |
| FVM-013 | 14.046 | 68,69 | 13,93 | 16,38 | 0,3870 | 0,6094 |
| FVM-006 | 13.838 | 65,97 | 15,47 | 16,34 | 1,9400 | 0,2780 |
| FVM-016 | 13.782 | 69,13 | 15,94 | 13,97 | 0,6752 | 0,2836 |
| FVM-004 | 13.437 | 74,81 | 12,84 | 11,26 | 0,2085 | 0,8876 |
| FVM-005 | 13.363 | 76,53 | 12,81 | 9,89 | 0,2678 | 0,5010 |
| FVM-009 | 13.201 | 79,68 | 11,53 | 8,17 | 0,2381 | 0,3757 |
| FVM-001 | 13.099 | 81,58 | 10,82 | 7,05 | 0,2804 | 0,2674 |



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

| | | | | | | |
|------------------------------------|--------|-------|-------|------|--------|--------|
| FVM-014 | 13.055 | 74,67 | 13,01 | 9,90 | 0,3750 | 2,0510 |
| C1:75-C2:25 | 13.051 | 75,00 | 25,00 | | | |
| FVM-008 | 13.010 | 80,82 | 11,76 | 6,63 | 0,3620 | 0,4301 |
| FVM-015-T (95%C ₃₊) | 12.720 | 78,49 | 19,74 | 0,67 | 0,72 | 0,38 |
| FVM-012 | 12.599 | 89,71 | 6,23 | 3,41 | 0,2146 | 0,4353 |
| FVM-011 | 12.466 | 79,36 | 11,69 | 5,78 | 0,6397 | 2,5360 |
| FVM-002 | 12.444 | 89,86 | 7,33 | 2,08 | 0,2594 | 0,4606 |
| FVM-003 | 12.199 | 94,88 | 3,13 | 1,19 | 0,2544 | 0,5414 |
| FVM-007 | 12.038 | 87,44 | 7,18 | 2,50 | 0,3158 | 2,5720 |
| FVM-010 | 11.846 | 98,51 | 0,17 | 0,02 | 0,1140 | 1,1810 |

Como puede observarse, de las 16 composiciones, sólo 5 se encuentran por debajo de la especificación actual, 3 se encuentran entre la especificación actual y el máximo de la Familia H y otras 8 se encuentran por encima de este último máximo.

Teniendo en consideración que las composiciones mostradas pertenecen a pozos exploratorios, se planteó simular cómo evolucionarían dichas composiciones en el caso de someterlas a un proceso de acondicionamiento. Para ello, se eligió la composición FVM-015, la cual posee el máximo IW y se consideró un desempeño de la planta con una recuperación del 95% del propano (100% para butanos y superiores). Este caso se representó en la tabla como FVM-015-T (95%C₃₊). El resultado obtenido para el IW fue de 12.720 kcal/m³ y para PCS de 10.368 kcal/m³, lo cual plantea la problemática de que, aún instalando una planta de procesamiento que extraiga el LPG y la gasolina, aún no se cumple con la especificación actual (ni de IW ni de PCS).

Con este resultado, se tomó como base esta composición y se buscó manualmente, por prueba y error, una composición que sea similar, que en lo posible no contenga más de dos componentes (mayor facilidad para su formulación) que se acerque al máximo de la Familia H y que sólo se encuentre desviada en cuanto a las especificaciones actuales en cuanto a IW y PCS. Se optó por una composición C₁: 75% y C₂: 25% (IW: 13.051 kcal/m³ y para PCS de 10.737 kcal/m³).

VII. Ensayos de artefactos domiciliarios:

A partir de lo determinado en el punto anterior, se consideró la necesidad de realizar ensayos para evaluar si sería posible aumentar el IW hasta el valor máximo de la segunda familia del Grupo H. Esta evaluación se centrará en la seguridad de utilización de un determinado artefacto, teniendo como premisa su comportamiento con relación a la combustión (estabilidad de llama, humeo, tiznado, volado de llama, reencendido, producción de CO, etc.).

Más allá de ello, en la instancia de evaluación de un artefacto, el primer ensayo que evalúa su aptitud respecto a su desempeño con un gas combustible equivalente al que fue originalmente certificado es el ensayo de consumo. Este ensayo es el primero con el cual se evaluarán los artefactos.

Teniendo en cuenta estas premisas, se definió que los artefactos del tipo domiciliario que deberían evaluarse deberían ser: cocina con horno, calefactor tiro balanceado, calefón



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

cámara abierta, termotanque y caldera.

| | |
|---|----------------------------|
| 1 | Cocina con horno |
| 2 | Calefactor Tiro Balanceado |
| 3 | Calefón Cámara Abierta |
| 4 | Termotanque |
| 5 | Caldera |

Luego, a partir de un intercambio de opinión e interconsultas realizadas tanto con personal técnico del ENARGAS como del IGA, se definió una nueva lista de artefactos a ser ensayado que quedó conformada como sigue:

| | |
|---|---------------------------|
| 1 | Cocina con horno |
| 2 | Calefactor Tiro Natural |
| 3 | Calefactor Cámara Abierta |
| 4 | Calefón Cámara Abierta |
| 5 | Termotanque |
| 6 | Caldera |

a) Razones de su elección:

La cocina con horno es un artefacto que se encuentra presente en prácticamente todas las viviendas de uso residencial. La utilización de energía eléctrica en la cocción no se halla difundida como elemento principal de cocción (hornos microondas y hornos eléctricos se utilizan en forma complementaria a la cocina a gas). Es, junto con el calefactor cámara abierta, los que además de consumir el aire del ambiente en que se encuentran dejan los gases de combustión en dicho ambiente.

El calefactor tiro natural se evalúa debido a ser un artefacto que consume aire del ambiente en que se encuentra. Se halla sumamente difundido como elemento de calefacción. Se evalúa en lugar del calefactor tiro balanceado debido a que éste consume aire desde el exterior y conduce los gases de combustión también hacia el exterior por lo que, un aumento en la generación de CO no afectará la seguridad de las personas que se encuentre en el ambiente instalado.

El calefactor cámara abierta (por ejemplo, el que se utiliza en forma decorativa con leños de cerámica, sin salida de gases al exterior) al igual que la cocina, consume aire y deja los gases de combustión en el ambiente, de ahí su elección.

El calefón se incluyó teniendo en cuenta que además de consumir el aire del ambiente, registra el mayor conteo de accidentes provocado por artefactos domésticos.

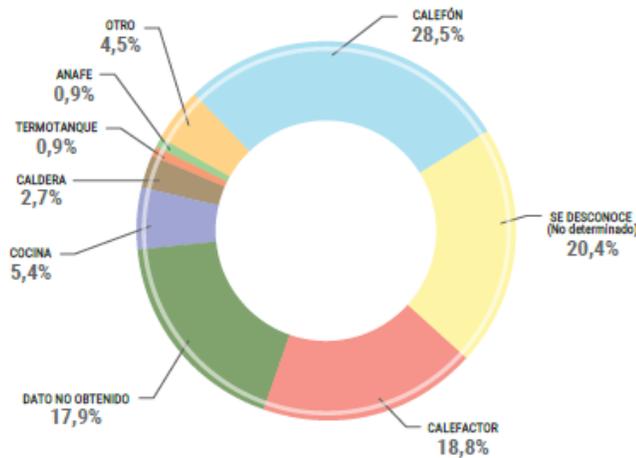
A continuación, se muestra el detalle de desperfectos detectados en los artefactos en las intoxicaciones con monóxido de carbono (Informe Anual 2020 – ENARGAS), donde se destaca la participación del calefón en la cantidad de incidentes:



INSTITUTO ARGENTINO DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

DESPERFECTOS DETECTADOS EN LOS ARTEFACTOS, EN LAS INTOXICACIONES POR MONÓXIDO DE CARBONO.

PARTICIPACIÓN PORCENTUAL – 2020 – TOTAL PAÍS



Con relación a los incidentes ocasionados por la inhalación de monóxido de carbono, que pudieron involucrar a más de una persona, en 2020 se reportaron 112 casos, en los cuales se destaca que el calefón es el equipo que produjo la mayor cantidad de incidentes, con una participación del 29 % en el total.

Asimismo, extraído de artículos periodísticos, entre los que destacamos el publicado por la Agencia Télam (28-06-2022 20:10 - ASESINO SILENCIOSO) “Especialistas advierten que el monóxido de carbono causa 200 muertes al año en el país” se destaca la elevada participación del calefón en las causas de muerte por intoxicación por CO (87% del total), seguido muy por debajo por calefactores y cocinas con solo un 8% y 5% respectivamente.

MONÓXIDO DE CARBONO
Se produce por mala combustión de gas, carbón o leña.

COLOR DE LLAMA en equipos a gas

AZUL
Denota correcta combustión

NARANJA - AMARILLA
Indica la presencia del Monóxido de Carbono por mala combustión

PRECAUCIONES

- No usar equipos a gas en baños
- Ventilar ambientes
- Utilizar tiros balanceados
- Controlar las instalaciones con gasistas matriculados

QUÉ LO GENERA

87% CALEFONES 8% CALEFACTORES 5% COCINAS

FUENTE: METROGAS



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

La caldera y el termotanque son los otros dispositivos que se utilizan a nivel domiciliario tanto para calefacción y calentamiento de agua sanitaria como solamente para este último servicio.

b) Representatividad de los artefactos:

Siendo que en el mercado se encuentra una gran variedad de modelos y fabricantes de los artefactos a ser evaluados, se encomendó al IGA, teniendo en cuenta su conocimiento del mercado, que defina los artefactos a ser evaluados para que los mismos sean representativos del parque instalado. Debido a ello, se eligieron artefactos de gama media (se descartaron modelos *premium*), de diferentes fabricantes y con los sistemas de seguridad que especifican las normas de aplicación (no se incluyeron aquellos modelos que poseen controles y seguridades más sofisticados).

c) Ensayos realizados:

Los ensayos fueron realizados según lo establecido por las normas específicas para cada tipo de artefacto, de manera análoga al procedimiento que se sigue al momento de certificación de un artefacto. En función de la naturaleza de cada ensayo, en algunos casos se realizó tanto el ensayo con gas de alto IW ($IW \sim 13.000 \text{ Kcal/m}^3$) como así también con gas de red ($IW \sim 12.000 \text{ Kcal/m}^3$) para tener una referencia concreta entre el desempeño del artefacto como funciona actualmente y con el gas de alto IW.

Se detalla a continuación las normas utilizadas para realizar los ensayos en los artefactos:

| | Artefacto | Norma |
|---|---------------------------|---------|
| 1 | Cocina con horno | NAG-312 |
| 2 | Calefactor Tiro Natural | NAG-315 |
| 3 | Calefactor Cámara Abierta | NAG-317 |
| 4 | Calefón Cámara Abierta | NAG-313 |
| 5 | Termotanque | NAG-314 |
| 6 | Caldera | NAG-311 |

d) Resultados obtenidos:

En primera instancia, se realizaron los ensayos de consumo en cada uno de los artefactos, como validación previa e indispensable para dar paso al resto de los ensayos. Todos los artefactos cumplieron con los rangos permitidos en cada una de las normas que les aplican.

Acto seguido, se realizaron el resto de los ensayos previstos (Anexo C), aunque siendo que el interés principal de validación se enfocó en la seguridad del funcionamiento de los artefactos, se reproducen a continuación los resultados obtenidos en los ensayos de combustión:

Cocina con horno (Extracto de ensayos del informe 159637-5879)

| Método NAG-312:2010 | Ensayo N°1 | Ensayo N°2 | Ensayo N°3 | Ensayo N°4 |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
|---------------------|------------|------------|------------|------------|



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

| Condiciones de ensayo | Consumo nominal, presión máxima (270 mmca) | | Mitad del consumo nominal, presión normal (180 mmca) | | Consumo nominal, presión normal (180 mmca) | | Consumo nominal, presión normal (180 mmca), todos los quemadores encendidos | |
|-----------------------|--|----------|--|----------|--|----------|---|----------|
| | COcor. [%] | | COcor. [%] | | COcor. [%] | | COcor. [%] | |
| Quemador | Requisito | Medición | Requisito | Medición | Requisito | Medición | Requisito | Medición |
| | Trasero derecho | ≤0,100 | 0,023 | ≤0,150 | 0,046 | ≤0,150 | 0,032 | ≤0,200 |
| Trasero izquierdo | ≤0,100 | 0,017 | ≤0,150 | 0,028 | ≤0,150 | 0,016 | | |
| Delantero izquierdo | ≤0,100 | 0,016 | ≤0,150 | 0,033 | ≤0,150 | 0,016 | | |
| Delantero derecho | ≤0,100 | 0,010 | ≤0,150 | 0,012 | ≤0,150 | 0,011 | | |
| Horno | ≤0,100 | 0,060 | N/A | N/A | N/A | N/A | | |

REFERENCIAS: COcor.: contenido volumétrico de CO en los productos de la combustión exentos de aire y de vapor de agua, N/A: No aplica.

Calefactor cámara abierta con tiro natural (Extracto de ensayos del informe 159637-5866)

| Método NAG-315:2015 | Condiciones de ensayo | COcor. [%] | |
|---|--|------------|----------|
| | | Requisito | Medición |
| Ensayos en las condiciones límites | Consumo nominal, presión máxima (270 mmca) | ≤0,040 | 0,000 |
| | Consumo mínimo, presión máxima (270 mmca) | ≤0,040 | 0,016 |
| Ensayos complementarios en las condiciones especiales | N°1: (Con la chimenea obstruida) | ≤0,200 | 0,013 |
| | N°2: (corriente de aire descendente continuo de 3 m/s) | ≤ ,200 | 0,001 |

REFERENCIAS: COcor.: contenido volumétrico de CO en los productos de la combustión exentos de aire y de vapor de agua.

Calefactor cámara abierta sin ventilación al exterior (Extracto de ensayos del informe 159637-5875)

| Método NAG-317:2015 | Condiciones de ensayo | CO [%] (V/V) | |
|---|--|--------------|----------|
| | | Requisito | Medición |
| Medición de CO cuando CO ₂ = 2,1 % en el recinto de ensayo | Consumo mínimo, presión normal (180 mmca) | ≤0,010 | 0,003 |
| | Consumo nominal, presión normal (180 mmca) | ≤0,010 | 0,002 |

Calefón cámara abierta con tiro natural (Extracto de ensayos del informe 159637-5876)

| Método NAG-313:2018 | Condiciones de ensayo | COcor. [%] | |
|---------------------------|--|------------|----------|
| | | Requisito | Medición |
| Ensayos con aire en calma | Consumo nominal, presión normal (180 mmca) | ≤0,040 | 0,012 |
| | Consumo nominal, presión máxima (270 mmca) | ≤0,040 | 0,012 |
| | Consumo nominal, presión mínima (90 mmca) | ≤0,040 | 0,010 |

REFERENCIAS: COcor.: contenido volumétrico de CO en los productos de la combustión exentos de aire y de vapor de agua.

Caldera mural cámara estanca con tiro forzado (Extracto de ensayos del informe 159637-5877)

| Método NAG-311:1995 | Condiciones de ensayo | COcor. [ppm] |
|---------------------|-----------------------|--------------|
|---------------------|-----------------------|--------------|



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

| | | Requisito | Medición |
|----------------|---------------------------|-----------|----------|
| Consumo máximo | presión normal (180 mmca) | ≤400 | 166 |
| | presión máxima (270 mmca) | ≤400 | 171 |
| | presión mínima (90 mmca) | ≤400 | 44 |

REFERENCIAS: COcor.: contenido volumétrico de CO en los productos de la combustión exentos de aire y de vapor de agua.

Termotanque cámara abierta con tiro natural (Extracto de ensayos del informe 159637-5878)

| Método NAG-314:2019 | Condiciones de ensayo | COcor. [%] | |
|---------------------------|--|------------|----------|
| | | Requisito | Medición |
| Ensayos con aire en calma | Consumo nominal, presión normal (180 mmca) | ≤0,040 | 0,001 |
| | Consumo nominal, presión mínima (90 mmca) | ≤0,040 | 0,013 |
| | Consumo nominal, presión máxima (270 mmca) | ≤0,040 | 0,001 |

REFERENCIAS: COcor.: contenido volumétrico de CO en los productos de la combustión exentos de aire y de vapor de agua.

Como puede observarse, los resultados obtenidos son coherentes con las observaciones y conclusiones extraídas de los trabajos internacionales estudiados, esto es, que la utilización de un gas con alto IW no afecta el funcionamiento de los artefactos, aunque pueden darse aumentos en la generación de monóxido de carbono. En nuestro caso, todos los artefactos muestran niveles de CO dentro de la normativa vigente.

Resulta de significativa importancia destacar que los ensayos fueron realizados reproduciendo la situación de mayor compromiso para un artefacto, esto es, pasando en forma directa, sin ningún tipo de ajuste, entre la instancia de funcionamiento con gas de red y el paso a consumo de gas de alto IW.

Asimismo, resulta tranquilizador que el artefacto con mayor participación en la estadística de intoxicaciones con monóxido de carbono, el calefón, no se ve afectado por el cambio de composición, habiendo obtenido mediciones prácticamente idénticas que las tomadas con el gas de red.

VIII. Consumos industriales

Con respecto a los consumos industriales, se convocó al especialista Pablo Erbino, el cual se desempeña como docente en el CEARE y en la firma SAACKE, líder en soluciones de combustión a nivel mundial.

Se le planteó la problemática del IW y las perspectivas con respecto a su variación hacia niveles más altos que los actuales. A partir de estas conversaciones y de cálculos específicos se recogieron las siguientes consideraciones:

- A partir de cálculos teóricos de combustión, se evidencia que con el gas con alto IW se tendrá un mayor Poder Calorífico, que redundará en un aumento de la potencia del artefacto. Esto implicaría que, sin ningún tipo de ajuste, la combustión tendría disponible menor cantidad de aire (mayor calor generado, implica mayor cantidad de aire para la combustión). Si el artefacto es ajustado, esta situación queda resuelta.
- El consumidor industrial realiza ajustes periódicos en sus artefactos. Le resultan imprescindibles para salvar las variaciones de calidad de gas periódicas (invierno – verano). En general los ajustes son realizados por el consumidor industrial cada tres



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

meses. Esto se hace a partir de mediciones de los gases de combustión.

- Desde el punto de vista ambiental, existen regulaciones (NAG-201, OPDS -Prov. Bs.As.- y otras) que establecen límites en las emisiones de CO (unas 80 ppm).
- La NAG-201 no obliga a realizar ajustes periódicos, aunque los usuarios industriales los realizan principalmente por una cuestión de economía. Una combustión fuera del punto óptimo implica mayores costos para el emprendimiento.
- Como recomendación, sugirió que, ante un cambio en la composición brusco, simplemente se dé aviso a los usuarios industriales, que por lo anteriormente dicho (implicancias económicas negativas en el caso de combustión fuera del punto óptimo) rápidamente realizarán los ajustes necesarios en sus sistemas de combustión.
- La mayoría de las industrias poseen calderas las cuales, por ser un recipiente a presión, poseen una inspección anual obligatoria. En esta inspección también se revisa y ajusta el sistema de combustión.
- Los hornos no poseen verificaciones anuales obligatorias.
- Una combustión ineficiente se produce debido a un cierto grado de combustión incompleta, esto implica:
 - Mayor nivel de emisiones de CO.
 - Presencia de hidrocarburos en emisiones.
 - Presencia de hollín (con gas natural es mínimo, pero con el tiempo puede evidenciarse) que reduzca la transferencia térmica por ensuciamiento.
- Con respecto a las regulaciones que se aplican sobre los consumos industriales detalló:
 - NAG-201.
 - Normas del ENRE: aplica a generadores eléctricos.
- Con respecto a las responsabilidades que se ponen en juego:
 - Responsabilidad de los artefactos: es del Propietario.
 - Responsabilidad de la instalación: Matriculado en Combustión.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que los consumidores industriales a) tienen una muy amplia variedad de equipos de combustión, b) realizan ajustes periódicos de los mismos, mediante la intervención de Matriculados en Combustión y c) procuran obtener siempre un consumo eficiente y económica, sumado al hecho que el mayor poder calorífico redundará en una mayor potencia calórica, es que se decidió realizar ensayos solamente sobre artefactos de uso doméstico, ya que los consumidores residenciales son quienes no tienen la misma capacidad de respuesta a los cambios en el PC e IW del gas natural recibido.



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

CONCLUSIONES:

- En función de la lectura de los trabajos mencionados y los ensayos realizados por un organismo certificador (IGA), se determinó que el funcionamiento de los artefactos domésticos funcionando con un gas de alto IW es seguro desde el punto de vista de la combustión y se encuentra dentro de los parámetros de la normativa aplicable. Otros países, tales como Alemania, España, Holanda, Austria y Brasil utilizan el mismo valor máximo que el aquí propuesto.
- Extender el rango de IW permitirá dar continuidad al incremento de producción de gas no convencional en la Cuenca Neuquina, permitiendo que el país monetice sus recursos hidrocarburíferos y disminuya su dependencia del gas importado.
- Resulta seguro y conveniente:

- 1) Extender el rango del IW desde el máximo valor actual (12.470 Kcal/m³) al máximo establecido en la Segunda Familia del Grupo H (13.070 Kcal/m³):

| Índice Wobbe | Rangos Índice de Wobbe (Mínimo – Máximo) | | | | |
|---------------------|--|--------|-------------------------|--------|----------------------|
| | NAG 602 | | Segunda Familia Grupo H | | Solicitud |
| Kcal/m ³ | 11.300 | 12.470 | 10.917 | 13.070 | 11.300 13.070 |
| MJ/m ³ | 47,30 | 52,20 | 45,70 | 54,70 | 47,30 54,70 |

- 2) Ampliar el límite máximo del Poder Calorífico Superior, en línea con el aumento del IW:

| Índice Wobbe | Rangos Poder Calorífico Superior (Mínimo – Máximo) | | | |
|---------------------|--|--------|-----------|---------------|
| | NAG 602 | | Solicitud | |
| Kcal/m ³ | 8.850 | 10.200 | 8.850 | 10.700 |
| MJ/m ³ | 37,04 | 42,70 | 37,04 | 44,78 |

A continuación, se detallan los formularios previstos en la norma NAG-602 a tales efectos:



INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

Observaciones propuestas a la norma NAG-602 Año 2019

“Especificaciones de calidad para el transporte y la distribución de gas natural y otros gases análogos”

Ref.: Expediente EX-2019-36023126- -APN-GT#ENARGAS

Empresa: Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG)

Rep. Técnico: Ing. Daniel Rellán

Dirección: Maipú 639 (C1006ACG) - CABA - Tel: (54 11) 5277 IAPG (4274)

Página: 20

Apartado: Capítulo 5

Párrafo: Tabla 1

Donde dice:

CAPÍTULO 5 – ESPECIFICACIONES DE CALIDAD EN CONDICIONES BÁSICAS

Tabla 1 – Especificaciones de calidad de gas natural en condiciones básicas.

| Parámetro | Unidad | Condición básica | Referencia de control |
|--|---------------------|-------------------------|---|
| Poder calorífico superior (PCS) | kcal/m ³ | 8.850 – 10.200 | GPA 2172 / ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854 / ASTM D3588 |
| | MJ/m ³ | 37,04 – 42,70 | |
| Índice de Wobbe (IW) | kcal/m ³ | 11.300 – 12.470 | ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854 |
| | MJ/m ³ | 47,30 – 52,20 | |

Se propone:

CAPÍTULO 5 – ESPECIFICACIONES DE CALIDAD EN CONDICIONES BÁSICAS

Tabla 1 – Especificaciones de calidad de gas natural en condiciones básicas.

| Parámetro | Unidad | Condición básica | Referencia de control |
|--|---------------------|-------------------------|---|
| Poder calorífico superior (PCS) | kcal/m ³ | 8.850 – 10.700 | GPA 2172 / ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854 / ASTM D3588 |
| | MJ/m ³ | 37,04 – 44,78 | |
| Índice de Wobbe (IW) | kcal/m ³ | 11.300 – 13.070 | ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854 |
| | MJ/m ³ | 47,30 – 54,70 | |

Fundamento de la propuesta:



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

Contemplar la evolución de la calidad del gas en los sistemas de transporte y distribución, originadas por la presencia de gas no convencional, el cual posee mayores proporciones de etano que elevan el I.W. y el P.C.S. más allá de que haya sido sometido a procesos de acondicionamiento que permitan que cumpla con el Punto de Rocío de Hidrocarburos.

Situaciones similares con las que han tenido que lidiar otros países (Alemania, España, Holanda, Austria y Brasil) y regiones permitieron establecer que los artefactos adecuadamente ajustados toleran los cambios de composición y de I.W. asociados de manera adecuada y que es recomendable realizar ensayos en artefactos domiciliarios con el gas de I.W. con el que se pretende alimentarlos. Dichos ensayos fueron realizados por un organismo certificador inscripto en el ENARGAS y los resultados fueron contundentemente positivos para asegurar el funcionamiento de los artefactos con un gas con un valor de I.W. ubicado en el máximo de la Segunda Familia de Gases Grupo H.

Permitir el transporte y distribución de gas natural con la especificación propuesta redundará en un beneficio para el mercado de gas en su conjunto ya que eliminará los límites actuales y permitirá la comercialización de gases provenientes de formaciones no convencionales que contribuyen al autoabastecimiento y a la reducción de la dependencia de la importación de combustibles que asegure el nivel de suministro de energía que demanda el país a precios razonables, competitivos e independientes de las circunstancias y vaivenes internacionales.



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

ANEXO A

Gasoducto San Martín: se ha mantenido relativamente estable, oscilando el IW entre 12.000 y 12.300 kcal/m³ y el PCS entre 9.400 y 9.800 kcal/m³. Esta oscilación se debió principalmente al inicio de operaciones de una planta de procesamiento en cabecera y a desarrollos de yacimientos que luego compensaron el empobrecimiento producido por dicha planta.

Gasoducto NEUBA II: se distinguen tres claras regiones, la primera caracterizada por el empobrecimiento de la vena a raíz del inicio de operaciones de una planta de procesamiento en cabecera, luego una segunda región donde se produce un claro escalón de enriquecimiento que luego declina a lo largo del tiempo hasta que, en la tercera región, se manifiesta el progresivo pero constante enriquecimiento debido a la presencia del gas no convencional.

Tramos finales – Ezeiza: En este caso se reflejan los efectos mencionados en el Gasoducto NEUBA II en forma atenuada (empobrecimiento y luego enriquecimiento) aunque surge luego un efecto de variación estacional marcada, con picos durante el invierno y valles en el verano. Finalmente, también manifiesta un progresivo enriquecimiento, superando los máximos históricos anteriores (~12.250 kcal/m³).

Tramos finales – Pacheco: al igual que Ezeiza, se manifiesta la variación estacional a partir del 2007, también con un progresivo enriquecimiento manifestado por un aumento de los mínimos de los valles.

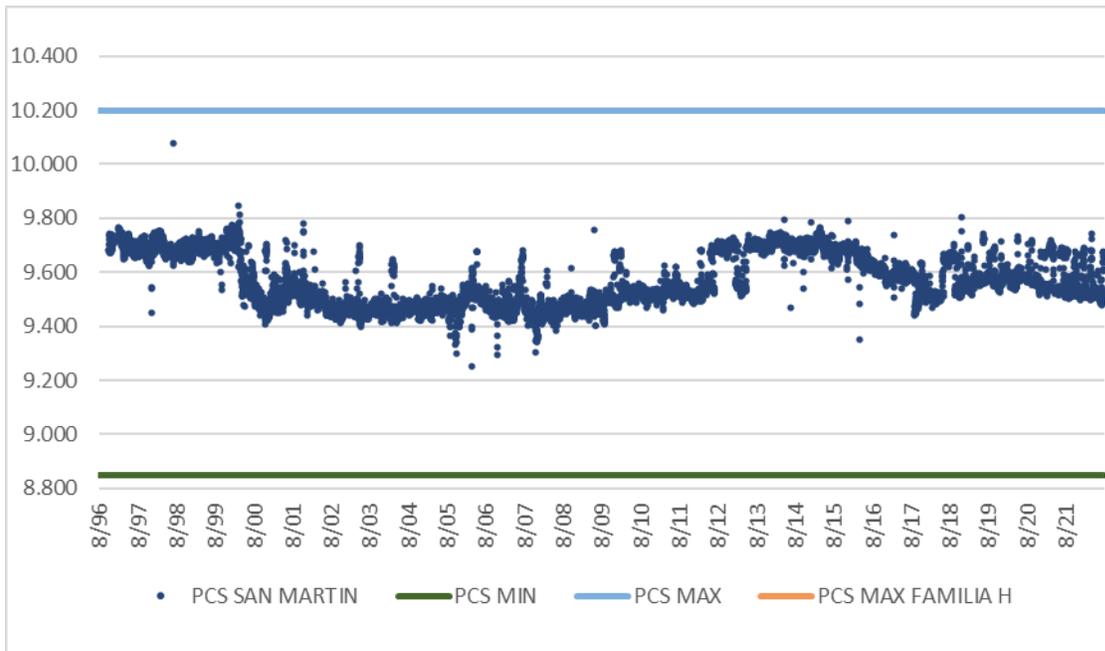
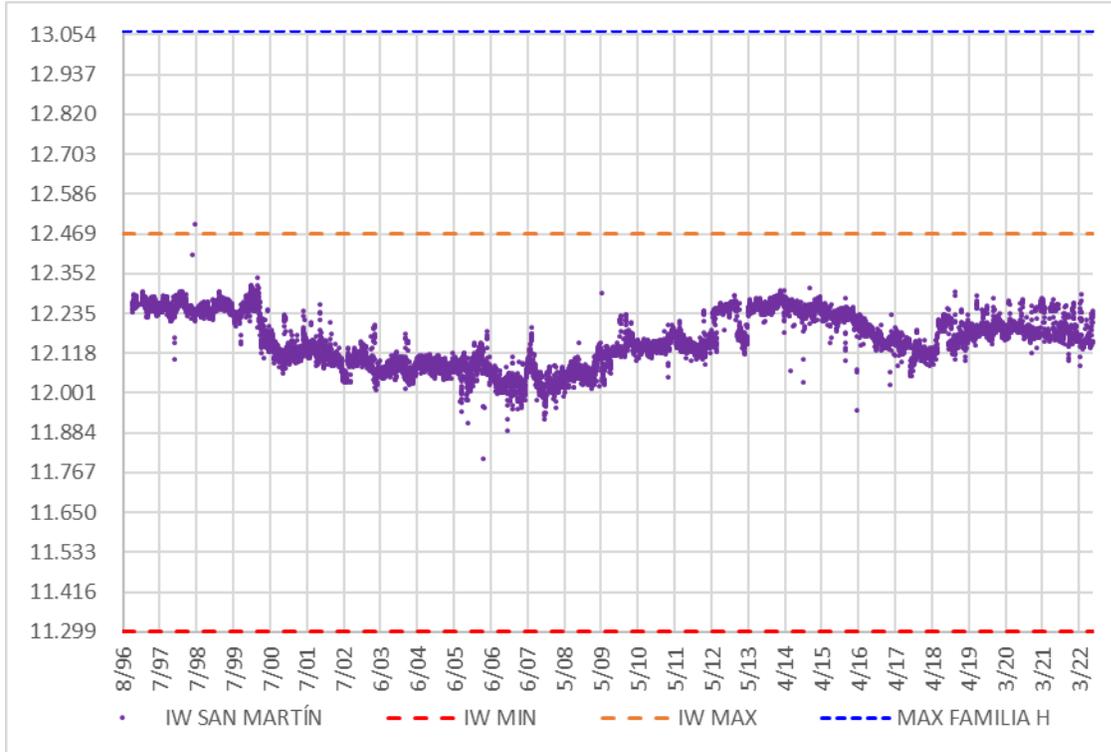
Gasoducto Centro Oeste: se distinguen dos claras regiones, la primera caracterizada por un gas de IW entre 11.600 y 12.200 kcal/m³ y PCS entre 8.900 y 9.500 kcal/m³, seguida por una segunda región que comienza aproximadamente a inicios del 2018, en donde se manifiesta el progresivo y constante enriquecimiento debido a la presencia del gas no convencional.

Gasoducto Norte: se ha mantenido relativamente estable, oscilando el IW entre 11.800 y 12.200 kcal/m³ y el PCS entre 9.200 y 9.800 kcal/m³. Esta oscilación se debe principalmente a la puesta en servicio o salida de servicio de las plantas de turboexpansión del principal aporte al gasoducto.



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

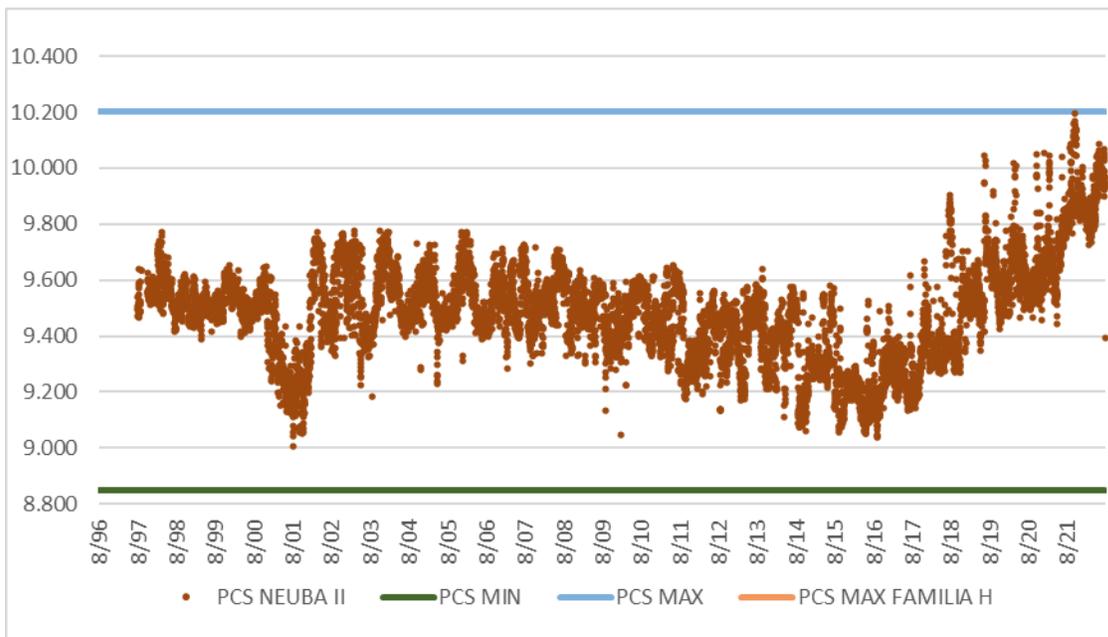
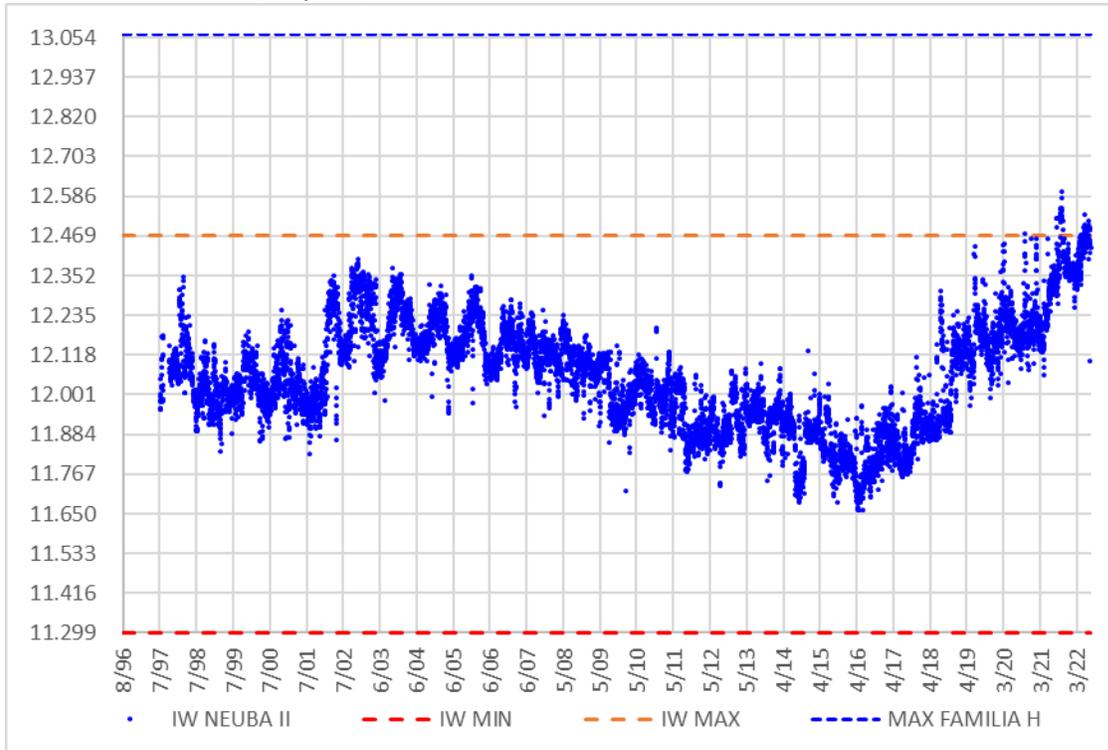
Gasoducto San Martín (IW y PCS):





**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

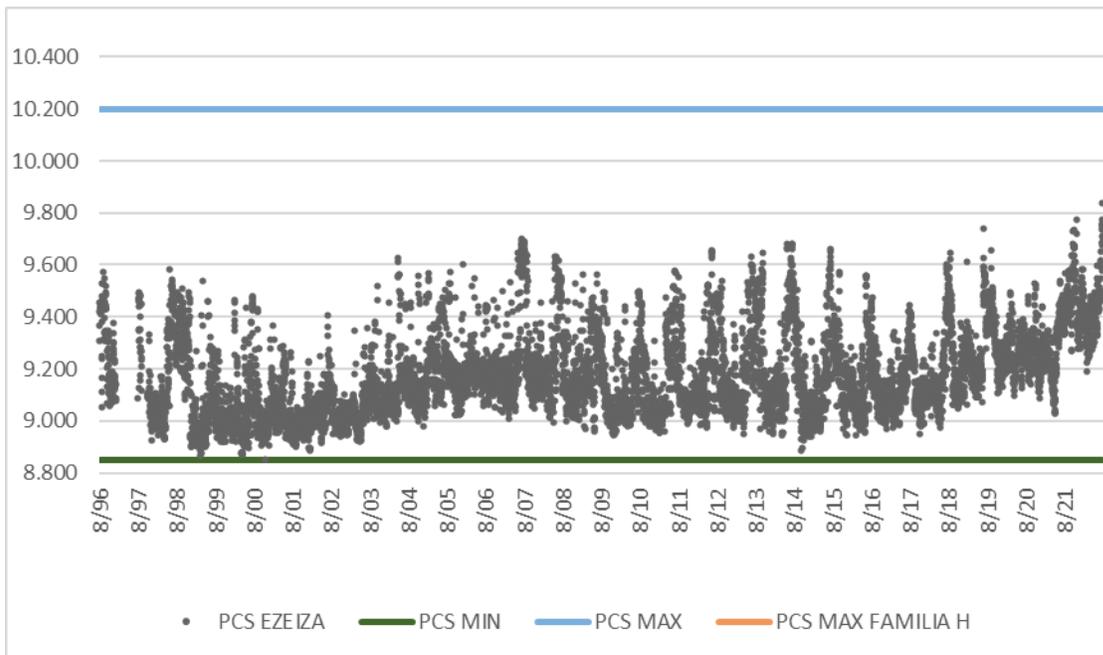
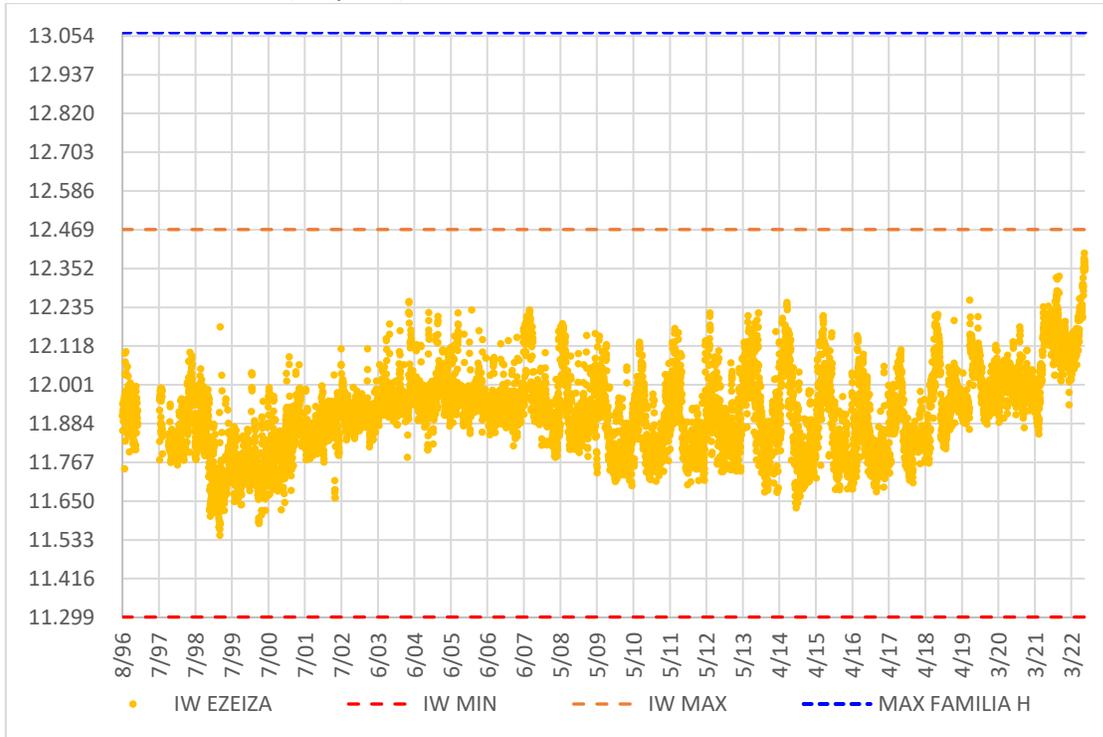
Gasoducto NEUBA II (IW y PCS):





**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

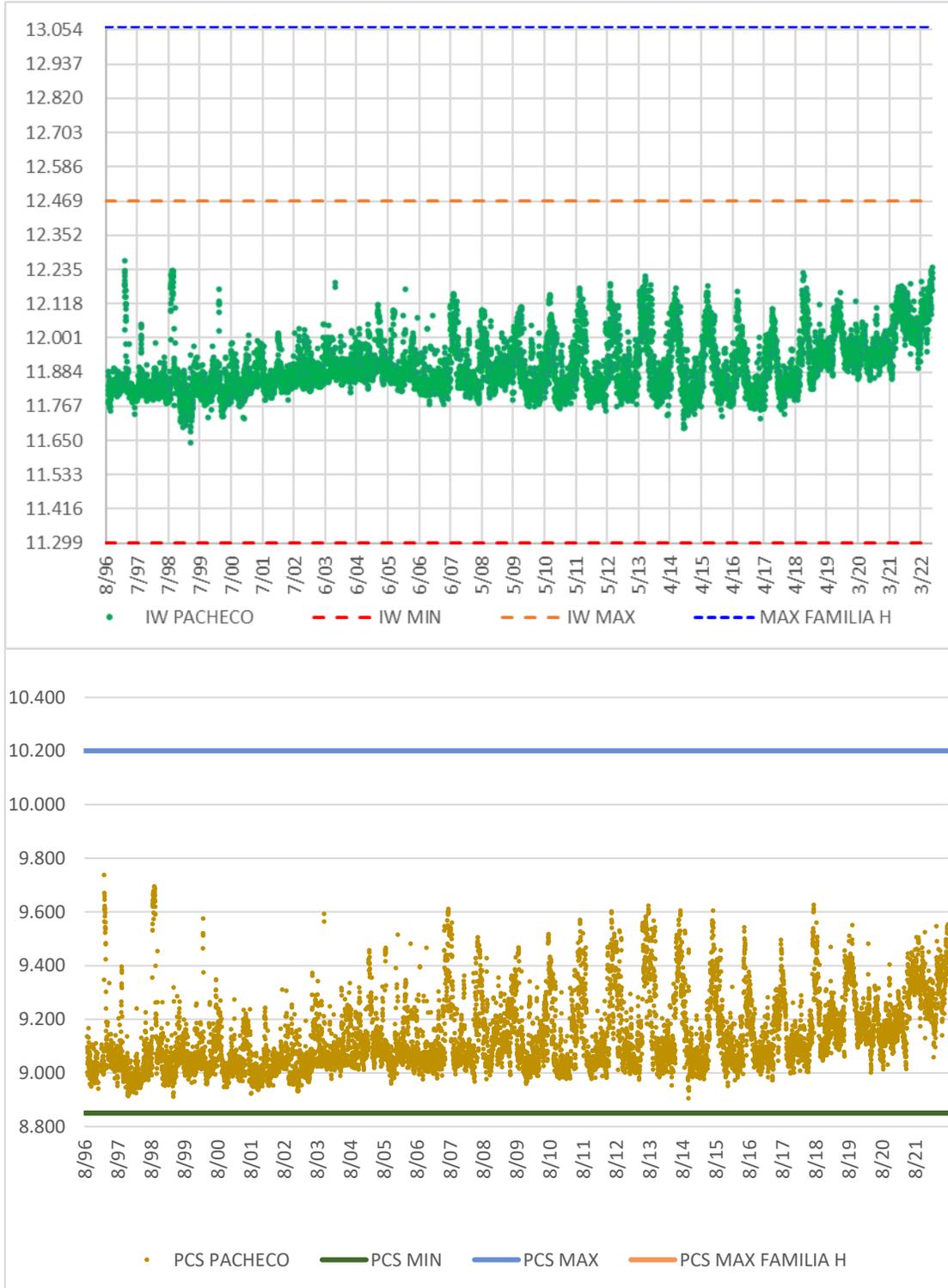
Tramos finales – Ezeiza (IW y PCS):





**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

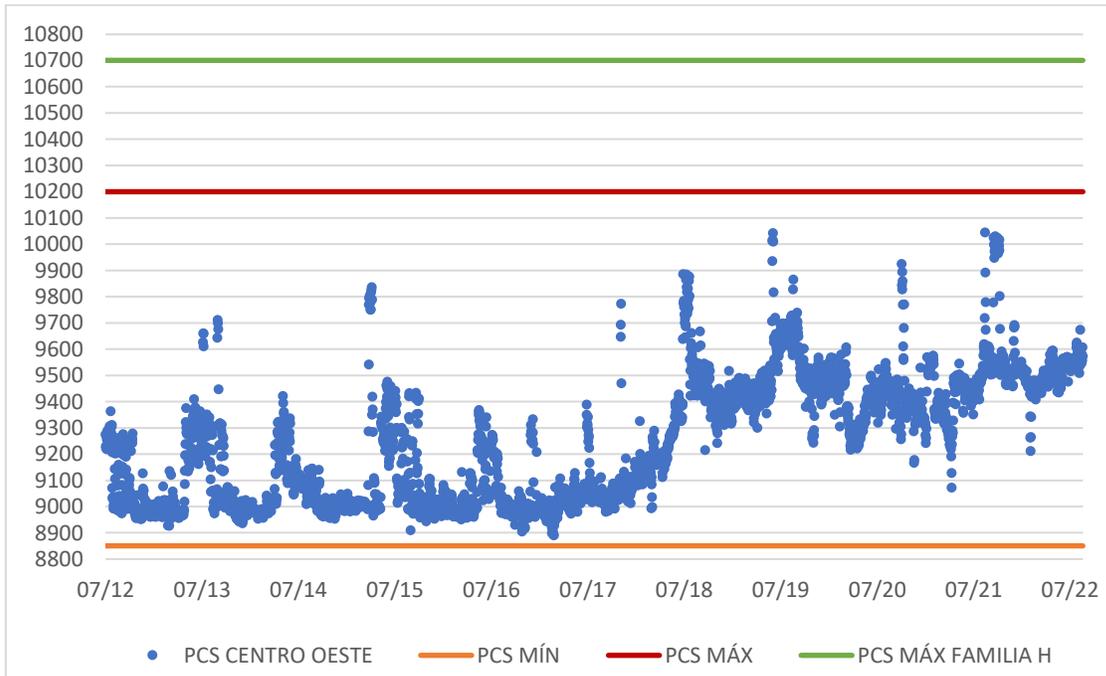
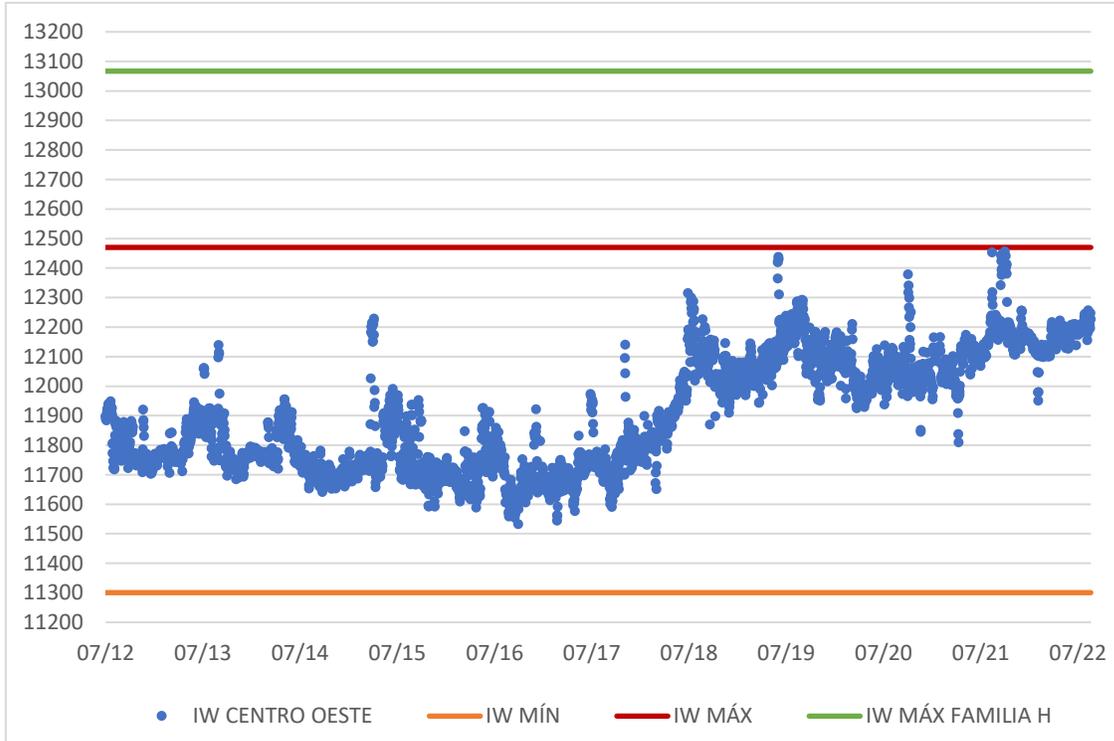
Tramos finales – Pacheco (IW y PCS):





INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

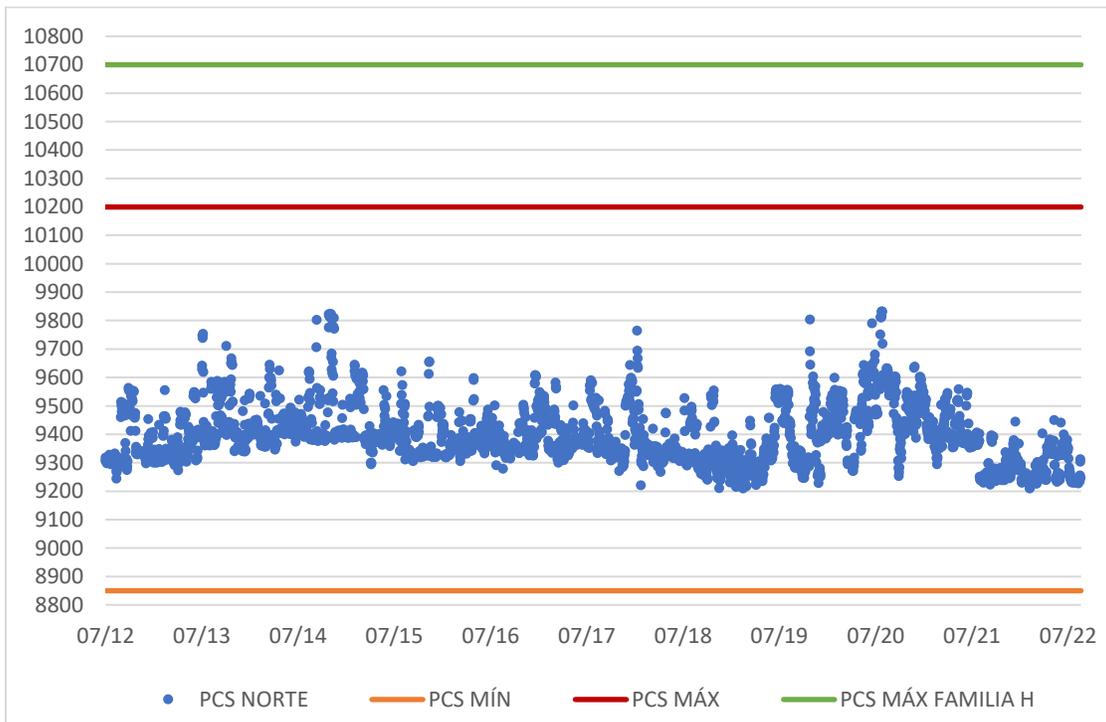
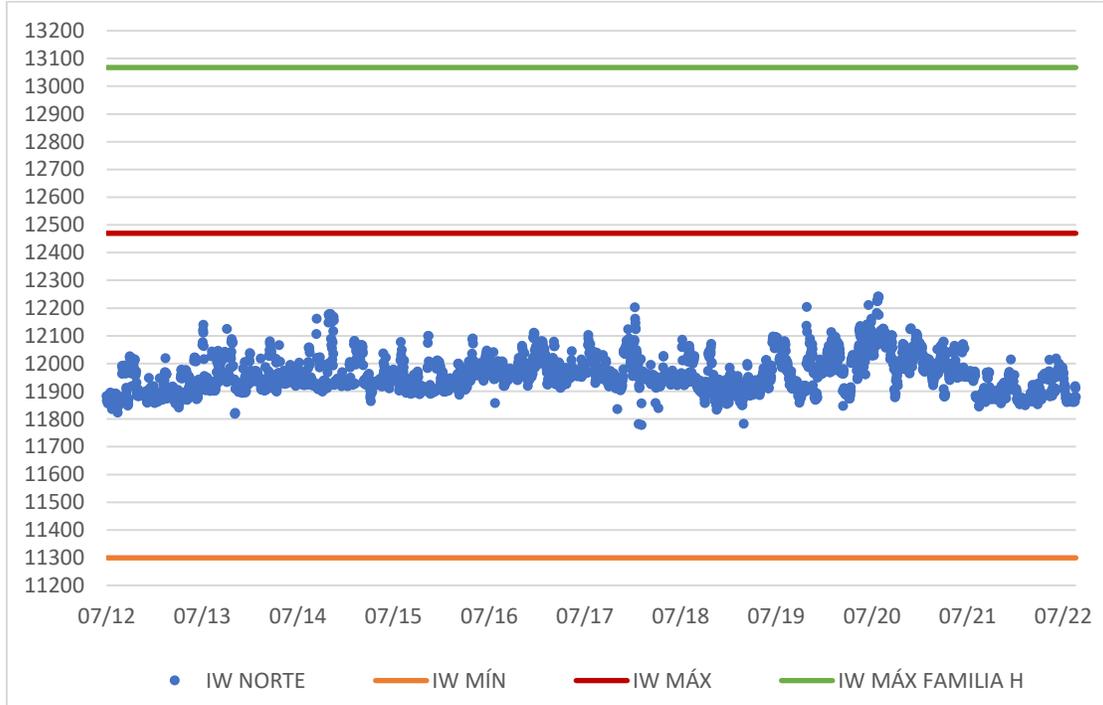
Gasoducto Centro Oeste(IW y PCS):





INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

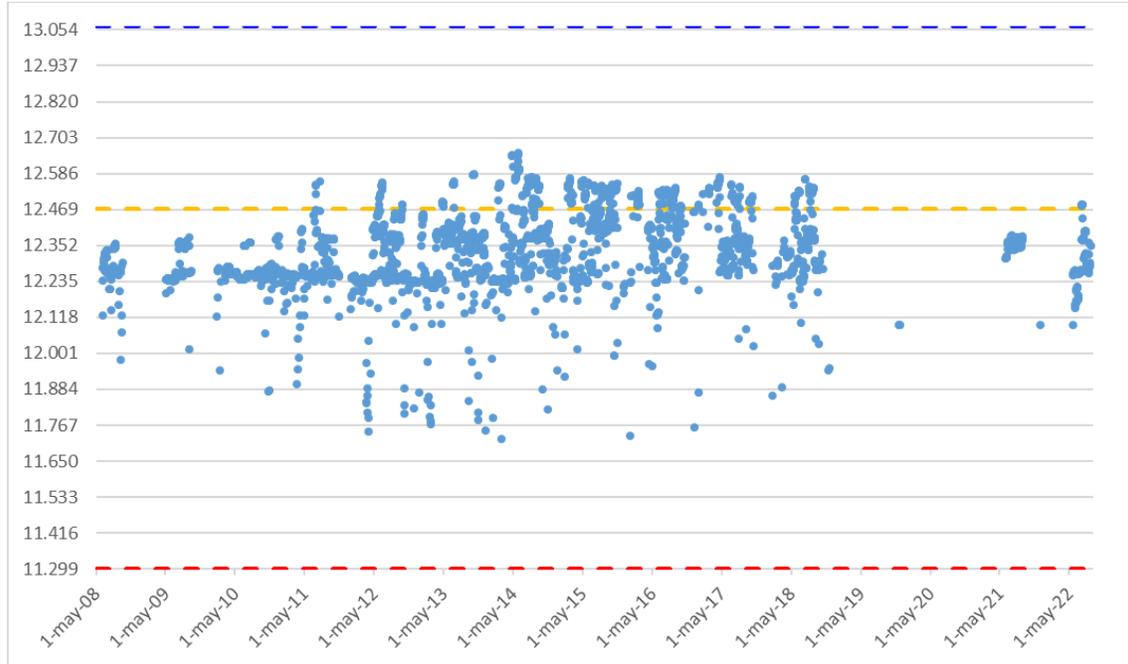
Gasoducto Norte (IW y PCS):



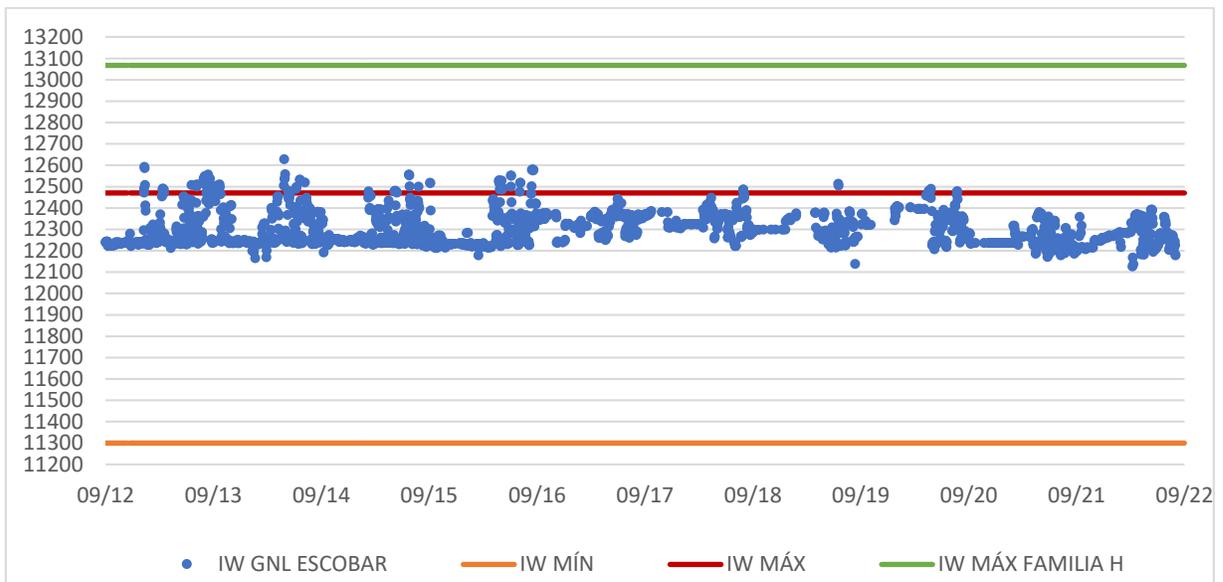


**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

Ingreso Barco en MEGA (IW):



Ingreso Barco en Escobar (IW):





INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

ANEXO B

Revisión bibliográfica

1. European Turbine Network - Position Paper: The Impact of Natural Gas Quality on Gas Turbine Performance

El trabajo evalúa el impacto de la calidad del gas en el desempeño de las turbinas. El rango evaluado (47-54 MJ/m³ coincide con la ampliación del rango actual de la NAG-602 que se propone esta comisión). Plantea como dificultad la velocidad de cambio del IW para la adaptación de las turbinas a la nueva calidad del gas y propone diferentes estrategias para controlar el funcionamiento de las mismas (calentamiento del gas, regulación del caudal de combustible, modificaciones a los sistemas de control para tener compensación automática, investigar métodos rápidos de medición de calidad de gas debido a la limitación de los cromatógrafos).

etn_position_paper_-_the_impact_of_natural_gas_quality.pdf

2. Kuala Lumpur 2012 World Gas Conference - Gas quality variation impact on gas appliances in Japan: a status report. Tatsuo Kume - Toshikuni Ohashi. Energy Engineering Dept. Osaka Gas Co., Ltd.

Trabajo sobre gases en Japón (PCS > 10.000 kcal/m³). Evaluaron la afectación de diferentes sectores ante cambios en el IW. Un cambio de un 1% producía un ΔT de 5°C que afectaba a industrias. Un cambio de 2% afectaba a la industria que realizaba tratamiento térmico de metales. Los usos en generación eléctrica no eran afectados debido a los sistemas de control que poseen los equipos. En equipos Micro Heat & Power había cierta afectación. La problemática a resolver era la aceptación de nuevos cargamentos de LNG con una composición más pobre.

376_wgc2012-gasquality-kume.pdf

3. International Gas Union Research Conference 2014 - Study for the gas interchangeability of natural gas utilization equipment regarding the variation of heating value. Hyunseok You, Joongseong Lee, Jaeyoung Her.

El trabajo se centró en observar la influencia del poder calorífico (9.300 - 10.800 kcal/Nm³) en el rendimiento de los artefactos. Sus principales conclusiones fueron:

* En el caso de los dispositivos domésticos de gas, la mayoría de los factores de rendimiento no mostraron ningún problema, incluida la eficiencia térmica basada en el cambio del poder calorífico.

* En el caso de la industria, en el procesamiento de vidrio, en el secado por fuego directo y en procesos de corte de metal, en donde la llama tiene una influencia directa, el poder calorífico no tuvo una gran influencia.

* Los procesos de la industria metalúrgica, así como los procesos térmicos, resultaron muy sensibles al poder calorífico, donde el gas natural no se utiliza como combustible sino como materia prima. Este cambio en el valor calorífico del gas natural resulta en un cambio en la relación estequiométrica de las materias primas y es un fenómeno causado por el cambio en la atmósfera de oxidación/reducción similar al proceso térmico.

* En el caso de los automóviles a gas natural, todos los automóviles se comportaron de acuerdo con las reglas de la norma de seguridad de vehículos motorizados en todos los tipos de gases experimentales.

international gas union research conference 2014.pdf



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

4. International Gas Union Research Conference 2014 - LNG Interchangeability—Residential Field Studies and Sensitive Industrial Burner Tests. Neil Leslie - presenter R&D Director, End Use Solutions Gas Technology Institute.

El objetivo del trabajo fue proporcionar información sobre los posibles impactos en la seguridad, el rendimiento y la calidad del aire de una mayor variabilidad en el suministro de gas natural de California, y específicamente relacionada con el uso de GNL.

Los sistemas de combustión estudiados incluyen: sistemas de combustión industriales, aparatos de cocina comerciales y electrodomésticos residenciales. Principales conclusiones:

* Quemadores industriales: Ningún quemador industrial tuvo problemas de encendido en el rango de gases estudiado (1308-1425 W). Las emisiones (NO_x, CO) pueden aumentar, disminuir o permanecer sin cambios para los quemadores. Con el ajuste adecuado, el NO_x para todos los quemadores a 1385 W puede ser igual o menor que el NO_x cuando el quemador está ajustado a 1332 W. Para quemadores que usan bajas proporciones de aire/gas (tubos radiantes, quemadores de oxígeno, calderas de bajo NO_x), el gas de mayor W requiere una mayor relación aire/gas para evitar aumentos exponenciales en CO. Muchos quemadores no requieren ajustes para NO_x, CO. Los equipos con sistemas de control avanzados pueden realizar los ajustes necesarios para muchos quemadores. Los datos sugieren que se pueden diseñar protocolos simplificados para los quemadores de interés restantes.

* Resumen de electrodomésticos para servicios de alimentación: No hay problemas con el encendido o el funcionamiento del equipo probado. Según las emisiones de NO_x y CO, los aparatos pueden tener problemas de intercambiabilidad significativos, algunos o ninguno. Surgen algunas preocupaciones menores con NO_x en ensayos con alto Wobbe. El CO aumenta a niveles altos para algunos electrodomésticos con gas con Wobbe alto. La prueba de exceso de O₂ en chimenea es un buen indicador de CO alto y que un aparato necesita ajuste. Los electrodomésticos deben ser ajustados por el fabricante o por un técnico capacitado para una operación de baja emisión con gas de Wobbe alto.

* Electrodomésticos residenciales: a) Funcionamiento del aparato: de acuerdo con otros estudios, no encontramos problemas operativos sustanciales relacionados con el uso de GNL en electrodomésticos residenciales. b) Emisiones Contaminantes: i) pequeño aumento, si es que lo hay, en las emisiones de los hornos de aire forzado y los termotanques; ii) Los calefones tienen mayores emisiones e impactos de GNL en comparación con los termotanques; iii) Los quemadores de cocina pueden tener emisiones de referencia sustanciales y sensibilidad al GNL.

[Ing interchangeability—residential field studies and sensitive igu 2014.pdf](#)

5. White paper on Natural Gas Interchangeability and Non-Combustion End Use (NGC+ Interchangeability Work Group)

Identifica situaciones problemáticas derivadas de la utilización de abastecimiento con LNG de alto PCS, tales como formación de hollín, niveles elevados de CO y emisiones contaminantes, llama amarilla, afectación en desempeño de motores alternativos (pistoneo) incremento de emisiones en turbinas, estabilidad de llama en artefactos y afectación del desempeño en calderas industriales, calentadores y hornos junto con un incremento de emisiones. Recomienda: 1. Recolectar datos históricos de composición de gases para una mejor caracterización de las calidades y los cambios. 2. Hacer ensayos con muestras de gas que sean representativas de los valores límites. 3. Realizar investigaciones adicionales que permitan extender los límites definidos. 4. Reconocer el índice de



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

Wobbe como un buen parámetro de evaluación de desempeño para los productores. 5. Hacer una transición paulatina, considerando la falta de mantenimiento de equipos de uso final. 6. Se reconoce el impacto en consumos del gas como materia prima y plantas peak shaving, los cuales deben analizarse individualmente.

[ngc+whitepapers.pdf](#)

6. MARCOGAZ – Technical Association of the European Natural Gas Industry. MAIN EFFECTS OF GAS QUALITY VARIATIONS ON APPLICATIONS

El estudio tiene como objetivo las aplicaciones del gas natural en procesos de combustión y se centrará en las variaciones de Wobbe, ya que es el parámetro principal que afecta dichos procesos. Excluye todas las aplicaciones en las que el gas natural se considera como materia prima; estas aplicaciones generalmente se preocupan por la composición del gas (y principalmente su contenido de metano) y consideran todos los componentes que no se utilizan en los procesos como impurezas que deben eliminarse antes de transformar el gas. Realiza una clasificación del uso del gas natural en baja temperatura (electrodomésticos, preparación de agua caliente/vapor, etc.) y en alta temperatura (incluyendo acero, vidrio, cerámica).

En la práctica, para aplicaciones de baja temperatura (a gran escala), el efecto principal de las variaciones de IW se da sobre aquellos que utilizan encendido con mezclas ricas (debajo de la relación estequiométrica aire/gas) y las emisiones de NO_x, ya que la eficiencia no cambia mucho por la variación de la relación aire-gas. La dependencia en los electrodomésticos de la estabilidad de llama y la combustión incompleta del IW es bien conocida y constituye la base de EN-437. Para aplicaciones de alta temperatura (no premezcladas), las emisiones de NO_x y la eficiencia se ven afectadas por las variaciones de la relación aire-gas.

Para todas las aplicaciones en las que los productos de la combustión no se diluyen (caldera, etc.) se puede utilizar un sensor de oxígeno colocado en el escape para controlar la relación aire-gas.

Para un quemador completamente premezclado, si los productos de la combustión pueden diluirse antes del muestreo, o si el proceso puede alterarlos, la relación aire-gas puede obtenerse utilizando un "analizador de premezcla". Esto dará una señal para ajustar la relación aire-gas.

Para todas las aplicaciones en las que no se pueda realizar una medición representativa de la relación aire-gas en los productos de la combustión, se determinará el IW del gas, con un medidor específico junto con los parámetros del aire (presión, temperatura, etc.) o una medición del flujo de masa de aire. Esto se utiliza para ajustar la relación aire-gas.

Si el ajuste de la relación aire-gas no es posible para una aplicación sensible, entonces el Wobbe del gas se puede ajustar inyectando aire o nitrógeno en la línea de gas aguas arriba del quemador.

[MAIN EFFECTS OF GAS QUALITY VARIATIONS-GQ-05-04.pdf](#)

7. Gas Interchangeability Testing Report

Report Prepared for: Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute (AHRI) - American Gas Association (A.G.A.) - Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM).

November 12, 2009 - Date of Testing: February 2008 to April 2009

Presenta ensayos de intercambiabilidad realizados en artefactos (cantidad: 79). Primero se realizaron los ensayos con un gas de referencia, donde todos los artefactos cumplían con los parámetros evaluados y luego se varió el IW en más y en menos (4 mezclas). 39 artefactos cumplieron en todas las mezclas. En las dos mezclas que aumentaban el IW, se comprobó que a



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

medida que aumentaba el IW aumentaba el contenido de CO en los artefactos.

Final_Report_Gas_Interchangeability_March-2-2010.pdf

8. GAS QUALITY HARMONISATION IS KEY FOR SECURITY OF SUPPLY AND COMPETITIVENESS OF GAS. By François CAGNON, GDF SUEZ, Convenor of CEN BT WG 197 and Daniel HEC, Secretary General of Marcogaz, the Technical Association of the European natural Gas Industry.

Describe la problemática de Europa al enfrentarse a la importación de LNG y las diferentes calidades de gases presentes. Realiza un estudio en gran cantidad de artefactos. Encuentra que si no hay cambio de presión de suministro (se mantiene en 20 mmHg) la mayoría de los artefactos cumple con un buen desempeño (muy pocos artefactos (10 sobre 190) elevan el contenido de CO por encima de 1000 ppm).

gas quality harmonisation igu 2014.pdf

9. World Gas Conference Paris 2015 - Gas Interchangeability Study and Resulting NYSEARCH RANGE™ Model for Installed Residential Appliances - Daphne D'Zurko, Charles Benson.

A principios de la década de 2000, el personal regulatorio y de la industria formó el Grupo de Trabajo de Intercambiabilidad del Consejo de Gas Natural (conocido como NGC+) para abordar los problemas asociados con los cambios en el suministro de gas natural. Este grupo estableció pautas numéricas provisionales para la intercambiabilidad. También recomendaron que se recopilaran datos adicionales para caracterizar el impacto de los cambios en el suministro de gas en los equipos de uso final, incluidos los electrodomésticos.

El presente estudio refleja las preocupaciones acerca de los electrodomésticos residenciales en servicio debido a la sensibilidad potencial de esta clase de equipo a los cambios en la composición del gas. Con base en trabajos anteriores, se entendió que ciertos aparatos domésticos son sensibles a los cambios en la composición del gas natural debido a las características del diseño, las prácticas de ajuste o la falta de mantenimiento. Además, se reconoció que la atención del cliente al mantenimiento continuo de sus electrodomésticos a menudo es limitada. Por lo tanto, las comprobaciones de rendimiento y los ajustes de muchos aparatos en servicio son poco frecuentes. Se realizó un estudio de campo geográficamente diverso que cuantificó el desempeño de diferentes poblaciones de electrodomésticos residenciales instalados y en servicio. También determinó hasta qué punto existen aparatos potencialmente sensibles. El rendimiento en este estudio se refiere a la calidad de la llama (incluidos problemas como el levantamiento y la punta amarilla), así como a los niveles de monóxido de carbono (CO) y emisiones de NOx.

A continuación, el equipo realizó pruebas de laboratorio de los aparatos que se identificaron como potencialmente sensibles a los cambios en la calidad del gas. Las pruebas se realizaron en modelos que se recuperaron de los sitios de prueba de campo. Cada uno se evaluó inicialmente "tal como se encontró" y luego se sometió a una serie de ajustes comunes para examinar posibles variaciones en el rendimiento. El propósito de esta prueba fue proporcionar datos para desarrollar pautas para acomodar composiciones cambiantes de gases y determinar los parámetros de intercambiabilidad de gases más efectivos.

Las pruebas de campo de los artefactos residenciales indicaron que la mayoría están correctamente ajustados y funcionan aceptablemente. Sin embargo, una proporción pequeña pero significativa de aparatos funcionan con emisiones elevadas de CO en la chimenea o características de llama indeseables. Estos aparatos pueden ser más sensibles a los cambios en la composición del gas.



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

Con un mejor mantenimiento de los artefactos, el conjunto de los que están en servicio será menos sensible a los cambios en la composición del gas. Para aquellas distribuidoras que aún no cuentan con programas de comunicación efectivos, se recomienda que se inicien comunicaciones mejoradas con los clientes residenciales. Se debe hacer hincapié en la necesidad de realizar un mantenimiento anual en todos los aparatos que funcionan con gas. Además, el personal técnico debe realizar verificaciones de emisiones de CO y apariencia de llama de todos los aparatos a gas durante cada mantenimiento.

El análisis de los datos de laboratorio reveló que se pueden utilizar dos parámetros clave del gas natural para correlacionar los cambios en el rendimiento de los aparatos: El IW cuantifica el cambio en la velocidad de encendido y se descubrió que es la variable principal que afecta las características de rendimiento de los aparatos. La proporción de hidrógeno a carbono caracteriza las concentraciones de hidrocarburos de mayor peso molecular y se encontró que tiene un impacto secundario en el rendimiento del aparato.

Las pruebas de laboratorio también confirmaron que las mezclas de gases de dos o tres componentes pueden servir como gases límite para las pruebas de certificación de aparatos. Al colocar estratégicamente dichos gases en los límites del "rango de aceptabilidad", el rendimiento de los nuevos aparatos se validará para la gama completa de gases que se distribuirán.

Se han iniciado diálogos con los tomadores de decisiones de las compañías de gas, colaboradores de la industria y fabricantes de electrodomésticos para transmitir las recomendaciones del proyecto. La atención se centra en las mejores prácticas para la instalación y el mantenimiento de electrodomésticos, métodos de evaluación de intercambiabilidad para electrodomésticos en servicio y métodos de prueba de certificación de artefactos domésticos. El objetivo final es optimizar las prácticas para el diseño y la operación de los aparatos al mismo tiempo que se reducen los riesgos asociados con los cambios en la composición del gas y, por lo tanto, adaptarse con éxito a una gama más amplia de suministros de gas emergentes.

wgc-interchangeability.pdf

10. Fundamentos de la INTERCAMBIABILIDAD del Gas Natural - Juan Manuel Ortíz (juan.ortiz@polygon.com.co) Polygon Energy - Bucaramanga - Santander - Colombia

El trabajo muestra una revisión de los diferentes métodos elaborados a lo largo del tiempo y su utilización, ya sea en gases pobres derivados de gas de síntesis, así como también en gas natural. Muestra tanto los métodos gráficos como aquellos basados en índices.

Intercambiabilidad del gas natural.pdf

11. Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality – 2011 - Published by BP in association with the IGU.

La guía recopila datos de una variedad de fuentes sobre las últimas opiniones internacionales sobre la intercambiabilidad del gas y especificaciones de calidad del gas. Los equipos a gas muestran diferentes niveles de tolerancia a la variación de la composición del gas, dependiendo en la sensibilidad del sistema y la tolerancia de diseño a parámetros como las emisiones y la combustión eficiencia. Cambios rápidos o transitorios en la composición del gas son particularmente problemáticos para algunos combustores (por ejemplo, en turbinas de gas).

Aunque el índice de Wobbe se usa comúnmente para definir un proceso de combustión, muchos otros parámetros han sido adoptados para aplicaciones específicas, que reflejen requisitos



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

individuales (por ejemplo, octanaje para motores de vehículos).

En cuanto a las implicancias que tiene la calidad del gas en los diferentes tipos de equipamientos, plantea que la sensibilidad a los cambios de calidad es alta en quemadores domésticos (IW) y en motores (IW, número de metano y octanaje), siendo de baja a media en quemadores comerciales/industriales (IW y PCS) y de baja a alta en turbinas a gas (IW, IW modificado, índice de gas e índice de combustible).

Table 6.1 – Gas-fired Equipment and Gas Quality Issues.

| | Concerns | Control Parameter | Sensitivity to Gas Quality Changes |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Domestic burner | <ul style="list-style-type: none"> Significant appliance population without in-built pressure regulation or sophisticated controls | <ul style="list-style-type: none"> Wobbe Index | <ul style="list-style-type: none"> High |
| Commercial / industrial burner | <ul style="list-style-type: none"> Wide range of use Efficiency Emissions | <ul style="list-style-type: none"> Wobbe Index Calorific Value | <ul style="list-style-type: none"> Low – medium |
| Gas turbine | <ul style="list-style-type: none"> Efficiency Emissions Turbine life | <ul style="list-style-type: none"> Wobbe Index Modified Wobbe Index Gas Index Fuel Index | <ul style="list-style-type: none"> Low – high |
| Engine | <ul style="list-style-type: none"> Knock Efficiency Emissions Stable combustion | <ul style="list-style-type: none"> Wobbe Index Methane Number Octane Rating (MON or RON) | <ul style="list-style-type: none"> High |

guidebook-to-gas-interchangeability-and-gas-quality-august-2011-min.pdf

12. INFORME ESTADO DEL ARTE INTERCAMBIABILIDAD DE GASES A NIVEL INTERNACIONAL - Investigación Documental Detallada sobre Intercambiabilidad de Gases - Consejo Nacional de Operación de Gas Natural (CNO-Gas). Juan Manuel Ortiz Afanador, Liliana Valero Alvarado

El estudio hace un repaso detallado de los métodos para predecir la intercambiabilidad de gases. Los más extendidos corresponden al índice de Wobbe (Italia), los índices de Weaver (Estados Unidos), el método de AGA (Estados Unidos) y el método de Dutton (Reino Unido). Todos los índices fueron desarrollados a partir de la medición de diferentes características del gas natural y experimentos de combustión, con el propósito de predecir con base en las mediciones la capacidad de intercambio. Sin embargo, cada índice tiene límites para el valor predictivo de su aplicación.

Rangos de intercambiabilidad utilizados por diferentes países

Estados Unidos: En 2005 el comité NGC+, presentó un informe (“White Paper on Natural Gas Interchangeability and Non combustion End Use”) en donde se recomendaba el uso del índice de Wobbe como el principal parámetro de intercambiabilidad y se proponían unos límites para el índice de Wobbe provisionales de $\pm 4\%$ en torno al promedio histórico local, hasta un Wobbe máximo de 1400 BTU/ft³, un valor máximo de poder calorífico de 1100 BTU/ft³ y dos parámetros más para abordar los problemas de intercambiabilidad que se estaban presentando en Estados Unidos debido al incremento en las importaciones de GNL y a la reactivación de las terminales de regasificación. Con esta iniciativa se buscó examinar y actualizar los estándares de intercambiabilidad de gas natural.

Iniciativas Europeas:

Datos EASEE-Gas relativos a las propiedades del gas para el transporte transfronterizo del gas natural H en Europa:

| Parámetro | Unidad | Mínimo | Máximo |
|-----------|--------|--------|--------|
|-----------|--------|--------|--------|



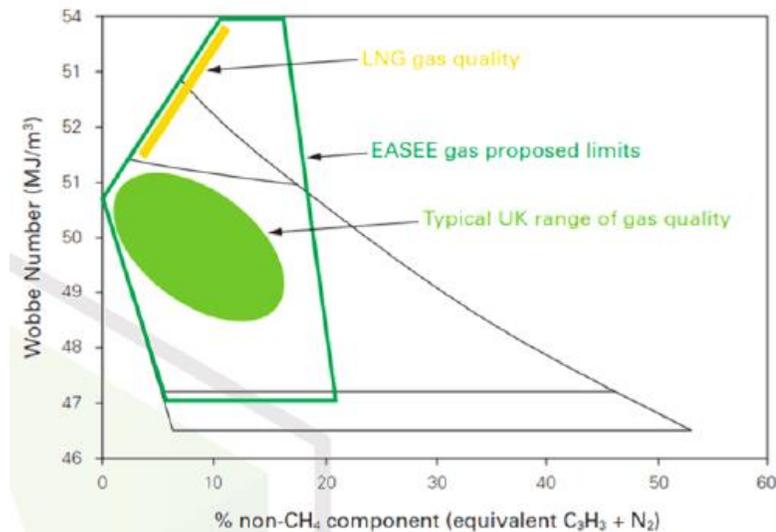
**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

| | | | |
|--|--------------------------------|-------|-------|
| Índice de Wobbe superior (WI) | kWh/m ³ | 13,60 | 15,81 |
| Densidad relativa (d) | m ³ /m ³ | 0,555 | 0,700 |
| Azufre total (S) | mg/ m ³ | - | 30 |
| Sulfuro de hidrogeno + sulfuro de carbonilo (H ₂ S+COS) | mg/ m ³ | - | 5 |
| Mercaptanos (RSH) | mg/ m ³ | - | 6 |
| Oxígeno (O ₂) | % molar | - | 0,001 |
| Dióxido de carbono (CO ₂) | % molar | - | 2.5 |
| Punto de rocío del agua (H ₂ O DP) | °C a 70 bar | - | -8 |
| Punto de rocío del HC (HC DP) | °C a 1- 70 bar | - | -2 |

Grupos de gases de la segunda familia como una función de los índices de Wobbe:

| Grupos de gas de la segunda familia | Índice de Wobbe superior a 15°C y 1013.25 mbar (MJ/m ³) | |
|-------------------------------------|---|--------|
| | Mínimo | Máximo |
| Grupo H | 45,7 | 54,7 |
| Grupo L | 39,1 | 44,8 |
| Grupo E | 40,9 | 54,7 |

Reino Unido: El código del Reino Unido GS(M)R, permite un rango de índice de Wobbe entre 51.41 a 47.20 MJ/m³, en comparación con la propuesta del EASEE-gas de 56.9 – 48.96 MJ/m³ con un límite en la densidad relativa o gravedad específica menor a 0,7.



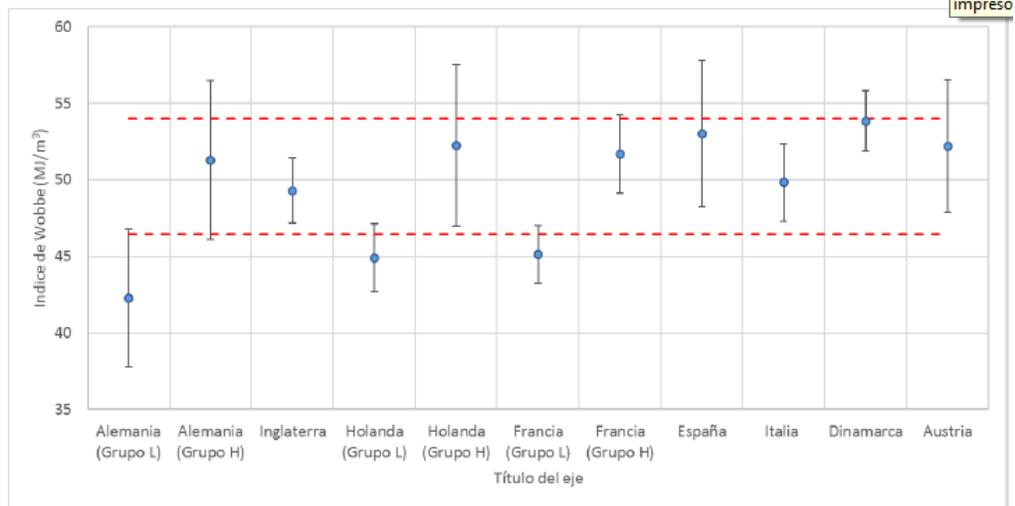
Alemania: Utiliza parámetros característicos de la combustión como el Índice de Wobbe, el poder calorífico y la densidad relativa. Alemania importa gas natural desde Rusia, Dinamarca, Noruega y Holanda.

España: El primer gasoducto para transporte de gas natural fue construido en 1979. Para ese entonces la cantidad de aparatos de combustión a gas era relativamente pequeña, por lo cual el cambio de gas manufacturado a gas natural fue relativamente fácil.

Rangos del IW en diferentes países de la Unión Europea



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**



Notas:

- Las líneas rojas a trazos representan los límites de referencia mínimo y máximo correspondientes a los valores de índice de Wobbe propuestos por EASEE-gas.
- Para Alemania se tomaron los valores de IW de la norma G260
- Para Inglaterra se tomaron los valores de IW de la norma GS(M)R
- Para Francia se tomaron los valores de IW de las especificaciones nacionales
- Para España se tomaron los valores de IW de la Resolución 22 del BOE
- Para Italia se tomaron los valores de IW de la Resolución 715/2009
- Para Dinamarca se tomaron los valores de IW del Danish Gas Code
- Para Austria se tomaron los valores de IW de ÖEGW standard G 31

Finalmente, el estudio concluye que a nivel mundial, el parámetro empleado por excelencia para el control de la intercambiabilidad es el índice de Wobbe y propone incluirlo dentro de las especificaciones de calidad de gas de Colombia.

Estudio de Intercambiabilidad de Gases-CNOGas-2016.pdf

13. White paper on Natural Gas Interchangeability and Non-Combustion End Use (NGC+ Interchangeability Work Group): Identifica situaciones problemáticas derivadas de la utilización de abastecimiento con LNG de alto PCS, tales como formación de hollín, niveles elevados de CO y emisiones contaminantes, llama amarilla, afectación en desempeño de motores alternativos (pistoneo) incremento de emisiones en turbinas, estabilidad de llama en artefactos y afectación del desempeño en calderas industriales, calentadores y hornos junto con un incremento de emisiones. Recomienda: 1) Recolectar datos históricos de composición de gases para una mejor caracterización de las calidades y los cambios. 2) Hacer ensayos con muestras de gas que sean representativas de los valores límites. 3) Realizar investigaciones adicionales que permitan extender los límites definidos. 4) Reconoce el índice de Wobbe como un buen parámetro de evaluación de desempeño para los productores. 5) Hacer una transición paulatina, considerando la falta de mantenimiento de equipos de uso final. 6) Reconoce el impacto en consumos del gas como materia prima y plantas peak shaving, los cuales deben analizarse individualmente.

ngc_interchangeability_white_paper_with_appendices_0.pdf



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS**

ANEXO C

El Instituto del Gas Argentino “IGA” fue la primera entidad reconocida en la República Argentina por el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS), como Organismo de Certificación en el marco de la Res. ENARGAS 138/95, con el número de Registro de Organismo de Certificación (ROC) 001. Cuenta con laboratorio propio de ensayos.

Asimismo, fueron pioneros en acreditar su laboratorio según las guías ISO25 por la Canadian Gas Association y posteriormente en acreditar por el OAA la Certificación de productos bajo el marco de la Res. ENARGAS 138/95, que luego se adecuó al esquema de certificación establecido por la Res. ENARGAS 56/2019, manteniendo el laboratorio IGA para ensayos de productos a gas. También, forman parte, como asesores del ENARGAS en el ámbito privado, de la comisión SGT N°3 del MERCOSUR.

Asimismo, fue reconocido mediante la Disposición N°1044/99 de la DIRECCIÓN NACIONAL DE COMERCIO INTERIOR como Organismo de Certificación para Seguridad Eléctrica en equipos a gas según el régimen establecido por la Resolución N° 92/98-SICYM, reemplazada por la Res. SECRETARIA DE COMERCIO 508/2015 y luego por la Res. SECRETARIA DE COMERCIO 169/2018 y sus Resoluciones Complementarias. Esquema que también se encuentra acreditado por el OAA

Cuenta con la Acreditación como Organismo de Certificación de Productos (OCP) del ORGANISMO ARGENTINO DE ACREDITACIÓN (OAA) con matrícula OCP 009.

Debido a la trayectoria y vasta experiencia del IGA en el rubro, que se fundamenta tanto en que una gran parte del mercado de artefactos a gas que se encuentran en plaza fueron ensayados y aprobados o se encuentran certificados en la actualidad por el IGA como en las acreditaciones arriba mencionadas es que se seleccionó al Instituto del Gas Argentino para la realización de los ensayos que a continuación se detallan: