

Utilización del gas natural en la iluminación de exteriores

Francisco Acuña Garrido*, Genaro Peña P.**, Elvis Contreras***,
Giovanny Rosillo****, Susane Altahona Escorcía*****,
Zamira Pineda Polo*****

Resumen

En este artículo, los autores muestran los resultados obtenidos en la investigación sobre la utilización del gas natural como fuente de energía para la iluminación de exteriores, en el cual se utilizaron tres tipos diferentes de lámparas de iluminación a gas natural, y sus eficiencias se compararon con la de un bombillo eléctrico de 60W. En la investigación se empleó el método de punto para el cálculo del alumbrado, el cual es el apropiado para la iluminación de exteriores.

Además, se presentan una serie de términos relacionadas con el estudio en mención para mayor claridad y comprensión del mismo; así mismo, tablas de información sobre el gas natural y tablas de resultados y de comparación de las lámparas y el bombillo ensayados.

Palabras claves: Brillantez, candela, bujía, iluminación, lumen, luminancia, lux, reflejo.

Abstract

In this article, the authors show the results obtained in the investigation about the utilization of the natural gas as energy source in the outdoor illumination, in which were used three different class gas natural illumination lamps and their performance were compared with the 60W electric bulb performance. In this investigation was used the point method for the illuminated calculation, which is the appropriated for the outdoor illumination.

In addition, it is showed a terms serie related with the investigation in mention for a high clarity and comprehension about itselfs ; likewise, information tables about natural gas and results and comparison tables of the lamps and the electric bulb tested.

Key words: Brightness, candle, fire, candlepower, illumination, lumen, luminosity, lux, reflex.

Fecha de recepción: 13 de marzo de 2000

* Ingeniero Mecánico ; Diplomado en Educación Universitaria y Diplomado en Gestión Ambiental. Profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica en las asignaturas Termodinámica I y II, Laboratorio de Térmicas y Mecánica de Fluidos. (e-mail: facuna@guayacan.uninorte.edu.co)

** Ingeniero Químico. M.Sc.

*** Ingeniero Mecánico.

**** Ingeniero Mecánico.

***** Estudiante de Ingeniería Mecánica, IX semestre.

***** Estudiante de Ingeniería Mecánica, VII semestre.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los combustibles gaseosos más usados en la actualidad están: los gases licuados del petróleo (propano, butano y mezclas de propano y butano) y el gas natural comprimido. Se denomina «gas natural» al formado por los miembros volátiles de la serie parafínica de hidrocarburos, principalmente metano, y cantidades menores de etano, propano y butano; puede contener también pequeñas cantidades de compuestos más pesados. Además puede contener otros gases, como bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, helio, mercurio y vapor de agua.

El gas natural se encuentra frecuentemente asociado al petróleo, y se cree que ambos combustibles tienen un origen común; también se encuentra en yacimientos de gas y se distribuye a grandes distancias por medio de tuberías (gasoductos). Este es uno de los combustibles más vendidos en gran cantidad (para usos domésticos, comerciales e industriales), por el hecho de que el único procedimiento practicable para transportarlo es la tubería.

El gas natural puede clasificarse como gas agrio, rico, pobre y dulce. El «gas agrio» es aquel que contiene cantidades apreciables de productos corrosivos (sulfato de hidrógeno, amoníaco, bióxido de carbono); el «gas rico o húmedo» es aquel que contiene gran cantidad de hidrocarburos licuables; el «gas pobre o seco» es aquel que contiene un alto porcentaje de metano del orden del

94% (este gas es el utilizado para la iluminación de exteriores); el «gas dulce» es aquel que no contiene o se le han retirado los productos corrosivos.

Colombia cuenta con campos de gas natural, con reservas probadas para unos 25 años, en la zona de la Costa Norte y el Valle Inferior del Magdalena, conformados por los campos de La Guajira, El Difícil y Sucre. Estas reservas representan el 85% del total del gas natural existente, el 15 % restante se encuentra en los departamentos de Norte de Santander y Sucre; descubrimientos recientes se han realizado en Cusiana (Casanare), cuyas reservas aún no han sido cuantificadas.

El 95% del gas natural producido en Colombia se utiliza como combustible en hornos y caldera. Actualmente se está utilizando como combustible en los motores de combustión interna. Además, en ciudades como Riohacha, Santa Marta, Cartagena, Neiva, Barranquilla y Sincelejo, gracias a las redes de gas construidas en éstas, permite un desarrollo rápido en la iluminación de exteriores.

2. OBJETIVO

El objetivo de la investigación fue determinar la factibilidad del uso del gas natural como fuente de energía para la iluminación de exteriores.

3. ORÍGENES DEL GAS NATURAL

El origen y la evolución subsecuente del

petróleo en las formas líquida y gaseosa no son completamente conocidos.

Sin embargo, el petróleo se encuentra generalmente en ciertas formaciones rocosas que hace miles de años fueron el piso de los océanos.

La materia original debió contener oxígeno, aun cuando el petróleo esté formado en parte por compuestos de carbono e hidrógeno. El método por el cual fue eliminado el oxígeno se desconoce.

Antes se acostumbraba a dejar que el gas natural que sube a la superficie con

el petróleo se escapara a la atmósfera, pero ahora se bombea a través de tuberías hasta las ciudades, donde se usa como combustible. El gas natural se encuentra separado del petróleo o con él.

La mayor parte del gas que se usa proviene de pozos que han sido perforados para obtener gas natural solamente, aunque se parecen mucho a los petrolíferos.

3.1. Composición química

Tabla 1
Componentes del gas natural en volumen

LUGAR	ETANO (%)	PROPANO (%)	N-BUTANO (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)	Poder calorífico superior (Btu/pie ³)	Densidad específica (vapor) aire=1
GUAJIRA Línea 20 Promigás	97.0	0.5	0.1	3.2	1.8	1004	0.5600
Estación Chuchupa	96.9	0.6		0.5	1.7	1001	0.5654
Estación Ballena	96.4	0.4		0.4	2.4	996	0.5694
NEW YORK CITY	94.5	3.2	0.26	0.7	0.3	1049	0.5950
WASHINGTON	95.1	2.8	0.24	0.6	0.4	1042	0.5860
SAN FRANCISCO	88.6	7.0		0.6	1.4	1086	0.6240

Fuente: NIEBLES, Pablo, jefe del Laboratorio de Ecopetrol. Cartagena, 1989.
Gas Engineering Handbook.

3.2. Propiedades físicas

Las propiedades físicas más importantes del gas natural son:

- *Fórmula química:* CH₄
- *Peso molecular:* 16.03 lb / lb mol
- *Estado normal:* Gas
- *Temperatura de fusión:* -297.4° F
- *Temperatura de ebullición:* -259 ° F
- *Poder calorífico a volumen constante (Btu/lb):*
 - *Superior:* 23.890
 - *Inferior:* 21.600
 - *Mezcla:* 1.396
- *Gravedad específica:* 0.424
- *Temperatura de autoignición:* 1.300 ° F
- *Octanaje:* 110 - 130
- *Relación de compresión crítica:* 15.5: 1
- *Rango de flamabilidad (% aire/volumen):* 5 - 15

4.1. Diferencias entre el gas natural y el gas licuado de petróleo

Las principales diferencias entre el gas natural y el gas licuado de petróleo son:

- El gas natural es un producto gaseoso que a temperatura ambiente no se licúa bajo presión, mientras que el G.L.P. es licuable.
- El gas natural se obtiene únicamente de los campos, mientras que el G.L.P. puede obtenerse del gas natural o en los procesos de refinación, petroquímicos y de ruptura catalítica.
- En poder calorífico, la relación entre el gas natural y el G.L.P. es de 1.0:2.8, mientras que en costo por equivalencia energética esta relación es de 1.0:2.6

4. GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (G.L.P.)

Es una mezcla de hidrocarburos livianos comprendidos entre el etano y el butano, que se obtiene del gas natural mediante un proceso físico de separación o como subproducto de refinación. Sus principales propiedades son:

- *Gravedad específica:* 0.53 (promedio con relación al agua)
- *Densidad específica:* 35.4 Lb / pie³
- *Poder calorífico:* 2778 Btu / pie³ de gas

4.2. Características del gas propano

El gas propano es una mezcla de hidrocarburos saturados y no saturados, cuyos componentes están incluidos en el rango etano-butano, siendo los de mayor proporción el propano y luego el butano. Generalmente, el gas propano se encuentra en el gas natural asociado o se obtiene como subproducto de los procesos de refinación. Por ser de composición variable, su gravedad específica fluctúa entre 0.52-0.56, y su poder calorífico entre 2600-3000 Btu/pie³ de gas¹.

¹ LARA LEÓN, Alberto. *Tecnología del gas natural*. Ecopetrol-Gases del Caribe. Barranquilla, 1993. Capítulo 6.

4.3. Uso racional y eficiente del gas natural y del gas licuado de petróleo

A continuación se enumeran algunas razones por las cuales se considera el gas natural y el G.L.P. como combustibles ideales para la industria y el hogar.

- Para generar un kilovatio hora de electricidad se requieren 16 pies cúbicos de gas natural, aproximadamente; en cambio, un kilovatio hora en una estufa eléctrica se reemplaza por 5.7 pies cúbicos de gas natural. Por tanto, reemplazar la electricidad por gas natural o G.L.P. significa optimizar el uso de los recursos energéticos del país.
- El gas natural y el G.L.P. son más seguros que el cocinol.
- El uso del gas natural o G.L.P. permite reducir la tala de árboles, pues estos combustibles sustituyen la leña.

4.4. Propiedades en el uso del gas natural y del gas licuado de petróleo

El gas natural y el G.L.P. permiten reemplazar la energía termoeléctrica en estufas y calentadores de agua, sustituir el cocinol, la leña y el kerosene, sustituir gasolina motor, combustóleo, crudo de castilla y ACPM.

El gas natural puede ser aplicado en diversas áreas, entre las que se desatacan: como combustible automotor, como combustible en el hogar, en la industria,

como fuente de energía para iluminación.

A partir de 1957², el uso de lámparas a gas para alumbrado de exteriores se ha venido incrementando rápidamente en países como Estados Unidos. Las principales aplicaciones en residencias son: patios, entradas a garajes, áreas de juegos y piscinas.

Entre las aplicaciones comerciales están: calles, centros comerciales, aeropuertos, hoteles, restaurantes.

En la fabricación de este tipo de lámparas se tuvieron en cuenta factores como el desarrollo de la combustión y la eficiencia de la iluminación.

En Colombia, el uso del gas natural como fuente de energía para iluminación está muy poco extendido, debido en gran parte a que la masificación del uso domiciliario e industrial del gas aún está en desarrollo.

4.5. Calor de combustión

El gas natural tiene un poder calorífico que varía entre 996 a 1004.3 Btu/pie³.

En muchos gases naturales existen otros gases que pueden considerarse como impurezas en virtud de sus propiedades físicas o químicas indeseables como combustible, tales como: el nitró-

² VANDAVEER, F.E. *Gas de iluminación*. Nueva York, Steilner Bros Press, 1978. Capítulo 11.

geno, el gas carbónico, el ácido sulfúrico, el helio y el vapor de agua.

5. ILUMINACIÓN

Las personas están rodeadas por radiaciones, la mayor parte de las cuales son invisibles; ondas de radio, microondas y otras muy diversas. De este conjunto de radiaciones sólo es visible para el ojo humano normal una pequeña banda, que abarca longitudes de onda de 400 a 700 nanómetros. Mas allá del rojo está el infrarrojo, y más allá del violeta, el ultravioleta.

La iluminación se refiere básicamente a la densidad de flujo luminoso sobre una superficie. En las unidades del SI se utiliza como unidad los lúmenes por metro cuadrado o lux. Si se toma el pie como unidad de longitud y el flujo es uniformemente distribuido en la superficie, la densidad en lúmenes por pie cuadrado se denomina bujía pie (una bujía pie es igual a 10.76 Lux). La iluminación se relaciona con la cantidad y la calidad de la luz.

- **Cantidad.** Para alumbrado de trabajo se debe suministrar suficiente luz, para permitir la visión rápida y precisa, y en las áreas que no son de trabajo, lo suficiente para proporcionar seguridad.
- **Calidad.** La calidad incluye la iluminación del reflejo, los contrastes y la calidad adecuada de color.
- **Sombras.** Las sombras pueden ser

buenas o malas según el grado. Las sombras negras definidas contrastadas pueden causar accidentes. Una instalación sin sombras posee una apariencia blanda y los objetos pierden sensación de profundidad.

El objeto de un diseño de alumbrado es proporcionar iluminación suficiente para una tarea visual dada sin producir malestar. Los dos métodos básicos utilizados para diseñar o evaluar sistemas de alumbrados son: el método de lúmenes y el método de punto (antes, punto por punto).

- **Método de lúmenes.** Método utilizado para determinar el número de lámparas o artefactos luminosos necesarios para proporcionar iluminación uniforme sobre una superficie horizontal de trabajo. Su fórmula básica es:

$$\text{Lux} = \frac{\text{Lúmenes totales de las lámparas} \cdot \text{CU} \cdot \text{FPL}}{\text{Área del plano de trabajo}}$$

donde:

CU : *Coficiente de utilización*

FPL : *Factor de pérdida de luz*

- **Método de punto.** Determinación de la iluminación en un punto sumando las contribuciones de todas las fuentes luminosas en la vecindad.

Su fórmula básica es:

$$\text{Iluminación (I)} = \frac{I \cdot \cos q}{d^2}$$

donde:

I : Intensidad en bujías de la fuente de luz en la dirección hacia el punto de medición.

q : Ángulo de inclinación entre la línea que emerge del centro del artefacto luminoso y el plano de trabajo en el punto.

d : Distancia en metros del centro de la fuente luminosa al punto.

6. PRUEBAS: LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

Los cálculos y pruebas que a continuación se presentan están realizados con base en la fórmula básica del método de punto. Dicha fórmula establece:

$$\text{Iluminación (} \Pi \text{)} = I \times \text{Cos } q / d^2$$

La fuente luminosa se sitúa a un metro del plano de trabajo, el cual en este punto es un plano horizontal. Ver la figura 1, donde:

q : Ángulo de declinación medido desde el lado vertical de la fuente luminosa.

d : Distancia en metros desde la fuente luminosa al instrumento de medición.

I : Intensidad en bujías.

Π : Iluminación.

L : Distancia en metros medida desde el plano vertical de la lámpara al punto de medición.

El ángulo q se mide de 10 en 10 grados. Al extraer su tangente se obtiene la localización de cada punto de medición sobre el plano de trabajo, según la tabla 2.

Fuente

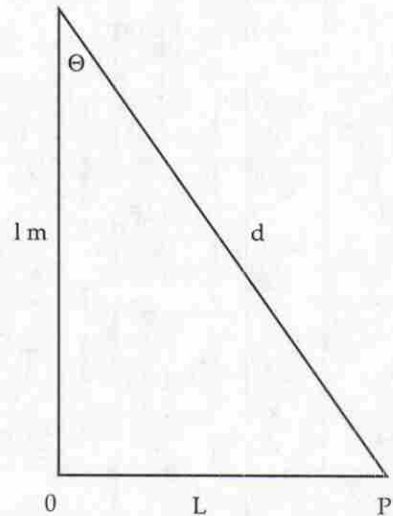


Figura 1
Localización de los puntos de medición

6.1. Resultados de las pruebas

A continuación se relacionan los datos de iluminación y consumos energéticos obtenidos de cada uno de los aparatos luminosos estudiados.

1. **Lámpara Humprey:** el contador registró un consumo de 0.335 pie^3 en 15 minutos, lo que representa un caudal consumido de $1.34 \text{ pie}^3/\text{h}$, por lo tanto:

- Consumo energético = Poder calorífico x caudal

- Consumo energético = $1004.7 \text{ Btu}/\text{pie}^3 \times 1.4 \text{ pie}^3/\text{h}$

- Consumo energético = $1346.80 \text{ Btu}/\text{h}$

Tabla 2
Localización de los puntos de medición

PUNTO	ÁNGULO (q)	DISTANCIA (m)	DISTANCIA d ² (m ²)
0	0	0	1
1	10	0.17	1.03
2	20	0.36	1.13
3	30	0.57	1.32
4	40	0.83	1.69
5	50	1.19	2.42
6	60	1.63	3.99
7	70	2.74	8.51
8	80	5.67	33.15

El número esperado de bujías para cada orientación se obtiene de la ecuación:

$$I = d^2 \times \text{Iluminación} / \text{Cos } q$$

2. **Lámpara de construcción artesanal:** el flujo volumétrico de esta lámpara fue de 1.87 pie³ / h, lo que representa un consumo energético de:

- Consumo energético = 1004.7 Btu/pie³ x 1.87 pie³/ h

- Consumo energético = 1878.79 Btu/h

3. **Lámparas exteriores:** el consumo de gas fue de 1.59 pie³/h, entonces:

- Consumo energético = 1004.7 Btu/pie³ x 1.59 pie³/h

- Consumo energético = 1597.47 Btu/h

Resultados de la medición realizada

Tabla 3

Lámpara Humprey: Presión 18 in H₂O; temperatura del gas, 18° C; lectura inicial del contador de gas, 0307270; lectura final, 0370279

PUNTO	ÁNGULO (grados)	DISTANCIA (m)	ILUMINACIÓN (lx)	INTENSIDAD (bujías)
0	0	0	23	23
1	10	0.17	21	21.96
2	20	0.36	16	19.24
3	30	0.57	16	24.38
4	40	0.83	14	30.88
5	50	1.19	9	22.11
6	60	1.63	6	47.58
7	70	2.74	4	99.53
8	80	5.67	2	381.80

Tabla 3a

Lámpara de construcción artesanal: Presión 18 in H₂O; temperatura del gas, 18° C;
lectura inicial del contador de gas, 0370281; lectura final, 0370294.

PUNTO	ÁNGULO (grados)	DISTANCIA (m)	ILUMINACIÓN (lx)	INTENSIDAD (bujías)
0	0	0	5	5
1	10	0.17	15	15.68
2	20	0.36	5	6.01
3	30	0.57	22	33.53
4	40	0.83	21	46.33
5	50	1.19	15	56.47
6	60	1.63	8	63.84
7	70	2.74	4	99.53
8	80	5.67	2	381.80

Tabla 3b

Lámparas Exteriores: Presión 18 in H₂O; temperatura del gas 18°, C;
lectura inicial del contador de gas, 0370300; lectura final, 0370311.

PUNTO	ÁNGULO (grados)	DISTANCIA (m)	ILUMINACIÓN (lx)	INTENSIDAD (bujías)
0	0	0	2	2
1	10	0.17	35	36.60
2	20	0.36	27	32.46
3	30	0.57	27	41.15
4	40	0.83	21	46.32
5	50	1.19	14	52.70
6	60	1.63	9	71.82
7	70	2.74	5	124.0
8	80	5.67	2	381.8

Tabla 3c

Bombillo de 60 W

PUNTO	ÁNGULO (grados)	DISTANCIA (m)	ILUMINACIÓN (lx)	INTENSIDAD (bujías)
0	0	0	35	35
1	10	0.17	36	36.60
2	20	0.36	36	43.90
3	30	0.57	20	30.71
4	40	0.83	19	46.33
5	50	1.19	11	41.41
6	60	1.63	7	55.86
7	70	2.74	4	99.53
8	80	5.67	2	381.8

6.2. Comparación de los sistemas eléctricos y a gas

Tabla 4

Comparación de los sistemas eléctricos y a gas

DISPOSITIVO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Humprey	1346	0.0028	3.87	92.8	47.5	596	2.29	1.51
Artesanal	1878	0.0028	5.30	127.24	63.8	802	2.20	1.45
Exterior	1597	0.0028	4.48	107.52	71.8	903	2.92	1.92
Bombillo	204.7	0.012	4.16	99.84	55.8	701	17	11.68

(1) Consumo (Btu/h)

(3) Costo del consumo (\$/h)

(5) Bujías producidas medidas a 2 metros de la lámpara

(7) Eficiencia de la iluminación = Bujía x 65 Btu/h
= (5) x 65 / (1)

(2) Costo del Btu (\$)

(4) Costo del consumo en 24 horas

(6) Lumen = 4 x 3.14 x (5)

(8) Lumen / vatio = (6) x 3.413 / (1)

7. DEFINICIONES

- *Angstrom*: Unidad de longitud de onda igual a una diezmillonésima parte de metro.

- *Brillantez*: Luminancia percibida.

- *Candela*: Intensidad luminosa en la dirección perpendicular de una superficie de 1/600000 metros cuadrados de un cuerpo negro a la temperatura de solidificación del platino, bajo la presión de 101325 N/m².

- *Bujía*: En términos prácticos, la in-

tensidad luminosa en todas las direcciones que proviene de una candela estándar internacional.

- *Bujía-pie*: Iluminación sobre un pie cuadrado de superficie con un lumen uniformemente distribuido sobre ella; o iluminación sobre un pie cuadrado de superficie curva cuyos puntos están a una distancia de un pie de una bujía estándar.
- *Cuerpo negro*: Cuerpo teórico que irradia el máximo en toda longitud de onda.
- *Eficacia*: Lúmenes por vatio de una fuente luminosa.
- *Energía radiante*: Energía que viaja en forma de onda electromagnética.
- *Espectro electromagnético*: Radiación eléctrica y magnética que incluye todas las longitudes de onda.
- *Iluminación*: Cantidad de lux por unidad de área que cae sobre una superficie transmisora y reflectora que emite un lumen por pie cuadrado.
- *Lumen*: Cantidad de flujo luminoso que incide en un pie cuadrado de superficie, todos los puntos de la cual están a un pie de una bujía estándar.
- *Luminancia*: Número de lúmenes por pie cuadrado que parten de una superficie hacia el ojo o hacia un instrumento de medición.

- *Lux*: Iluminación sobre un metro cuadrado de superficie con un lumen distribuido uniformemente sobre ella, o iluminación sobre un metro cuadrado de superficie curva cuyos puntos están todos a un metro de una bujía estándar.
- *Nanómetro*: Unidad de longitud de onda igual a una millonésima parte de un metro (1×10^{-9} m).
- *Radiación ultravioleta*: Radiación con longitudes de onda más cortas que el alcance visual.
- *Reflejo*: Iluminación en el campo visual que produce molestia o reduce la capacidad de visión.

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones del estudio, según los objetivos trazados y según los resultados:

1. Las lámparas a gas natural son mucho menos eficientes que el bombillo con el que fueron comparadas. No es recomendable sustituir el bombillo por lámparas a gas natural.
2. La instalación de las lámparas a gas natural es mucho más costosa que instalar una lámpara de bombillo eléctrico; por lo tanto, no es viable, económicamente hablando, el uso de lámparas a gas natural.
3. El mantenimiento de las lámparas a gas natural resulta más costoso que

una lámpara eléctrica.

4. El gas natural es un combustible cuya aplicación se encuentra en desarrollo en el país. Teniendo en cuenta que no se halla disponible para toda la población, técnicamente no es viable su utilización para iluminación. Sería condicionable su uso a estar conectado a la red de distribución de gas.

Referencias

BAUMEISTER, T. y AVALLONE, E. *Manual del Ingeniero Mecánico*. 8ª ed. México: McGraw-Hill, 1982. Vol. II.

CONTRERAS, E. ROSILLO, G. Estudio sobre la utilización del gas natural para la nominación de exterior. Tesis. Barranquilla: Universidad del Norte, 1995.

FERNÁNDEZ, A. y LIZARAZO, R. Estudio comparativo de los parámetros básicos de un motor de combustión interna funcionando en forma alterna con gasolina y gas natural. Barranquilla: Universidad del Norte, 1988.

KNOWLTON, A. *Manual Standar del Ingeniero Electricista*. Barcelona: Labor, 1962. Tomo II, sección 16.

LARA LEÓN, A. *Tecnología. Esquema institucional y programa de masificación del gas natural*. Ecopetrol-Gases del Caribe. Barranquilla, 1993.

NIEBLES, P., jefe de Laboratorio de Ecopetrol. Cartagena, 1989.

VANDAVEER, F. *Gas Illumination*. New York: Steilner Bros, 1978.

VAN WYLEN, G. y SONNTAG, R. *Fundamentos de Termodinámica*. México: Limusa, 1988.

WARK, K. *Termodinámica*. México: MacGraw-Hill, 1988.