

## **Verificación experimental del efecto de la altitud sobre la potencia térmica de un quemador atmosférico**

*Andrés Amell Arrieta\**, *John Ramiro Agudelo\** y *Jaime Cortés\*\**

(Recibido el 25 de febrero de 2002)

### **Resumen**

El plan de masificación del gas natural en Colombia se realiza en una diversidad de pisos térmicos, que van desde cero a dos mil seiscientos metros de altitud, el mayor mercado se sitúa en la región andina, que se caracteriza por la ubicación de importantes centros urbanos con altitudes que oscilan entre mil y dos mil seiscientos metros. En aplicaciones comerciales y residenciales los sistemas de combustión aplicados son quemadores atmosféricos cuya potencia es afectada por la altitud.

En el presente trabajo se realiza una verificación experimental del efecto de altitud en la potencia de quemadores atmosféricos que usan combustibles gaseosos, con el propósito de precisar el orden de magnitud en la disminución de este parámetro, para sustentar acciones normativas y posibles investigaciones que atenúen este efecto. Se encontró que la potencia de los quemadores atmosféricos disminuye 1,5% por cada 304 m de altitud.

----- *Palabras clave:* efecto de altitud, quemador atmosférico, reducción de potencia, combustión atmosférica.

## **Experimental verification of altitude effect over thermal power in an atmospheric burner**

### **Abstract**

Colombian National Massive Gasification Plan is carried out in a variety of geographic altitudes ranging from 0 to 2.600 meter. The biggest market is located in the Andinan Region, which is characterized by great urban centers located at high altitudes. Commercial, domestic and industrial applications are characterized by the utilization of appliances using atmospheric burners. The thermal power of these burners is affected by altitude. This paper shows experimental results of thermal power reduction in atmospheric burners due to altitude changes. It was found that thermal power is reduced by 1,5% each 304 meters of altitude.

----- *Key words:* altitude effect, atmospheric burner, power reduction, atmospheric combustion.

---

\* Miembros del Grupo de Ciencia y Tecnología de Gas y Uso Racional de la Energía. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. [anamell@udea.co](mailto:anamell@udea.co).

\*\* Ingeniero del departamento de gasodomésticos de industrias HACEB.

## Introducción

El plan de masificación del gas natural en Colombia se lleva a cabo en una diversidad de pisos térmicos, que van desde cero a dos mil seiscientos metros de altitud, el mayor mercado se sitúa en la región andina que se caracteriza por la ubicación de importantes centros urbanos con altitudes que oscilan entre mil y dos mil seiscientos metros.

Los estudios teóricos y la evidencia experimental del efecto de la altitud [1-6] sobre sistemas de combustión atmosféricos con llama de premezcla parcial demuestran que:

- Debido a la reducción de la densidad del gas con la presión atmosférica, la potencia térmica de los artefactos se reduce, lo cual nosotros denominamos “*derreteo*” natural.
- Debido a la menor disponibilidad de oxígeno ( $O_2$ ) a medida que aumenta la altitud, la higiene de la combustión se deteriora y se pueden alcanzar límites críticos de emisiones de monóxido de carbono.
- Otros tipos de problemas tienen que ver con la inestabilidad de la llama, dificultades de ignición y pérdidas de propiedades radiantes.

Con el propósito de garantizar una combustión higiénica comparable a las condiciones de nivel del mar, la norma estadounidense recomienda un *derreteo* de los equipos (reducción de la potencia térmica con respecto al valor especificado a nivel del mar) en un 4% por cada 304 m [1, 2, 6], lo cual denominamos *derreteo* inducido. Si bien esta norma tiene un carácter práctico, *su aplicación en Colombia debe examinarse cuidadosamente*, pues las razones técnicas de naturaleza histórica que dieron su origen implican consecuencias detectables si se mira a la luz de los parámetros de operación de un quemador atmosférico convencional o de nueva generación. Además el contexto colombiano presenta particularidades que deben ser tenidos en cuenta.

Una de las situaciones más críticas que presentaría la norma estadounidense sin ninguna adapta-

ción y consideración, es que el gas natural, por la drástica reducción de potencia que sugiere la norma a altitudes mayores de mil metros, perdería competitividad como fuente de calor en el sector residencial y comercial frente a la electricidad, dado que la potencia que se obtiene de este recurso energético no es sensible a la altura.

Por las razones anotadas consideramos pertinente que para abordar la definición de una norma acerca del efecto de altitud en gasodomésticos, deben realizarse los siguientes pasos:

- Divulgación de la teoría básica relacionada con la configuración, funcionamiento, parámetros de diseño y operación segura de quemadores atmosféricos convencionales y de nueva generación.
- Divulgación teórica del efecto de la altitud sobre la operación óptima y segura de quemadores atmosféricos.
- Verificación experimental de los efectos de la altitud sobre quemadores atmosféricos aplicados en cocinas y calentadores de agua: reducción natural de potencia, rango de modulación y emisiones de monóxido de carbono.
- Estudios teóricos y experimentales para atenuar el efecto de la altitud y para estructurar una norma técnica adaptable al contexto colombiano.

Con lo anterior se lograría que todos hablemos el mismo lenguaje, se aclaren concepciones existentes en algunas regiones del país y se llegue a soluciones técnicas y económicamente viables. Tales soluciones deben garantizar la seguridad de los usuarios, la eficiencia en el uso del gas, su competitividad ante la electricidad y la rentabilidad de los diferentes actores de la cadena: consumidores, fabricantes de equipos y distribuidores de gas natural. En la realización de las actividades anteriormente descritas, el Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía de la Universidad de Antioquia, está en condiciones de dar soporte teórico y experimental.

En el contexto anteriormente descrito se inscribe el proyecto: verificación experimental de los efectos de la altitud sobre quemadores atmosféricos de premezcla parcial aplicados en cocinas y calentadores de agua.

## Consideraciones teóricas

### **Configuración y funcionamiento de un quemador atmosférico [8]**

El quemador es el elemento que permite la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable. Es decir, asegurar la dosificación adecuada de ambos para conseguir la potencia calórica especificada, distribución de la zona de reacción (llama) y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera a la carga de manera eficiente el calor producido.

El quemador atmosférico de premezcla es aquel en el cual el gas combustible y el aire primario se mezclan previamente antes de llegar a la zona de combustión. Si el quemador es de gas inductor, a expensas de la energía cinética de éste se arrastra el aire atmosférico; si es de aire inductor, a expensas de la energía de presión del aire se arrastra el gas, que generalmente se encuentra a presión relativa nula. El calificativo de atmosférico se debe a que el aire primario es arrastrado desde la atmósfera por la corriente de gas, y también porque la combustión se realiza a presión atmosférica. El principio de funcionamiento fue desa-

rollado en 1855 por el químico alemán Robert Bunsen.

Dependiendo del tipo de gas, las presiones de suministro en un quemador atmosférico oscilan entre 5 y 50 mbar. El proceso de combustión en aparatos domésticos, comerciales y muchos industriales, se realiza en un quemador atmosférico con llama de premezcla que tiene la configuración mostrada en la figura 1.

La combustión que se efectúa en quemadores atmosféricos de baja presión tiene las siguientes características:

- Presión de suministro del gas entre 0-50 mbar.
- Arrastre de aire primario por expansión del gas o arrastre del gas por expansión del aire.
- Flujo laminar de la mezcla aire-gas.
- Llama de premezcla. El gas y el aire se mezclan antes de llegar a la zona de combustión.
- Combustión atmosférica. La combustión se realiza a presión atmosférica donde tiene lugar el aporte de aire secundario desde la atmósfera, por difusión.

A continuación se describen los principales elementos del quemador atmosférico de premezcla:

- Inyector: Desde donde se descarga el gas combustible. El gas al expandirse actúa como fluido inductor, para arrastrar al aire primario de la atmósfera.

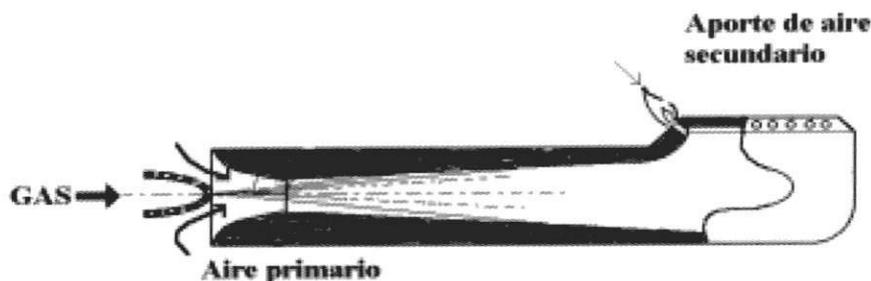


Figura 1 Quemador atmosférico de premezcla

- Mezclador: Donde el gas y el aire arrastrado se mezclan, buscando siempre alivio de presiones y buen contacto entre aire y gas.
- Cabeza: Donde se efectúa la combustión de la mezcla aire-combustible, al fluir la mezcla por las boquillas.
- Condiciones atmosféricas del sitio donde opera el quemador: temperatura y presión atmosférica.
- De las propiedades de combustión del gas descargado: poder calorífico y densidad relativa, propiedades que dependen de la composición química del combustible gaseoso.
- Del estado de referencia elegido.
- De la geometría del inyector.

### **Efecto de la altitud sobre la potencia**

Cuando una corriente de un combustible gaseoso se descarga por el orificio de un inyector a una presión manométrica menor de 100 mbar en un sitio determinado, la potencia térmica disponible en función del poder calorífico inferior del combustible queda definida por [9]:

$$P_T = CA \sqrt{\frac{2p}{\rho_{ast}d} \cdot \frac{P_{atm} + p}{P_{st}} \cdot \frac{T_{st}}{T}} \cdot PCI \quad (1)$$

Donde:

- $P_T$  : Potencia térmica en kW.
- $C$  : Coeficiente de descarga del inyector, depende de la configuración geométrica de este y del régimen de flujo.
- $p$  : Presión manométrica del gas en Pa.
- $\rho_{ast}$  : Densidad del aire en el estado estándar (288 °K y 101.325 Pa) en  $\text{kg/m}^3_{st}$ .
- $P_{st}$  : Presión absoluta en el estado estándar igual a 101.325 Pa.
- $T_{st}$  : Temperatura absoluta en el estado estándar igual a 288 °K.
- $T$  : Temperatura del gas antes de la descarga en el inyector.
- $PCI$ : Poder calorífico inferior del combustible gaseoso en  $\text{kW.h/m}^3_{st}$ .

Como puede observarse en la ecuación 1, cuando se descarga un caudal de combustible gaseoso por el orificio del inyector, a condiciones de baja presión, la potencia térmica disponible depende de los siguientes factores:

Si se considera que la presión de suministro, el estado de referencia, la composición química del combustible y la geometría del inyector no se modifican, la potencia térmica quedará en función de las condiciones atmosféricas del sitio donde se opera el quemador, particularmente de la presión atmosférica, la cual depende de la altura con el nivel del mar, de ahí el efecto de la altitud sobre la potencia térmica en un quemador atmosférico.

## **Verificación experimental**

### **Metodología**

#### *Descripción de los ensayos realizados*

Se eligieron como equipos de ensayo una cocina de gas natural y otra de butano, ambas consisten en tres quemadores de igual diámetro de inyector respectivamente y otro quemador de diámetro mayor. También se emplearon dos unidades calefactoras de calentadores acumuladores para gas natural y butano, respectivamente. La geometría de los quemadores (diámetro del inyector, cabeza, mezclador y obturación de aireación primaria) permanecieron constantes durante todos los ensayos.

A altitudes de quinientos cincuenta (Santa Fe de Antioquia), mil quinientos cincuenta (Medellín) y dos mil trescientos cuarenta (proximidades al alto de Boquerón) se realizaron los ensayos a caudal máximo y mínimo siguiendo el procedimiento establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC 2832-1 [10], los ensayos en cada quema-

duración tuvieron cuatro réplicas en la respectiva altitud. Como gases de ensayo se utilizaron gas natural de Guajira y una mezcla de: n-Butano 99%, iso-Butano 0,5%, iso-Pentano 0,3% y n-Pentano 0,2%.

Con los datos de presión ( $P_g$ ) y temperatura del gas ( $T_g$ ) en el medidor, volumen medido ( $V$ ) y presión atmosférica de cada sitio ( $P_{atm}$ ), se determinaron el factor de corrección, el volumen o caudal estándar ( $V_{st}$ ) y la variación porcentual de la potencia térmica con respecto al sitio de referencia (550 m).

Para la estimación del factor de corrección cuando se trabajó con gas natural, se utilizó la siguiente relación:

$$FC = \frac{288,15}{T_g} \times \frac{(P_{atm} + P_g)}{1.013} \quad (2)$$

Para el factor de corrección con Butano se tuvo en cuenta la recomendación de la norma en el sentido de considerar el efecto de la humidificación al pasar por el medidor para gases de tercera familia. Por lo cual la relación usada fue:

$$FC = \frac{288,15}{T_g} \times \frac{(P_{atm} + P_g - P_v)}{1.013} \quad (3)$$

Donde  $P_v$  es la presión de vapor que se determina con la temperatura promedio del agua destilada en el medidor.

Con el promedio de las variaciones porcentuales con respecto al sitio de referencia (555 m) de la potencia en todos los quemadores ensayados a caudal máximo con los dos gases, se determina una función de correlación entre la variación porcentual y el incremento de altitud. La pendiente de esta función representa la variación porcentual de la potencia con la altura.

Con el propósito de tener un indicador más directo del efecto de la altitud sobre la potencia, siguiendo el procedimiento de la NTC 2832-1 para

el ensayo de eficiencia se midió el tiempo de calentamiento para 2 kg de agua cuando se obtenía una diferencia de temperatura de aproximadamente 60 °C en cada sitio.

### Equipos e instrumentos usados

En la realización de los ensayos se utilizaron los siguientes equipos e instrumentos:

- Cilindros para el almacenamiento de gas natural de Guajira y Butano con sus respectivos reguladores de presión.
- Un medidor de volumen húmedo marca Elster-Handel, con rango de 0,002 m<sup>3</sup>/h a 0,2 m<sup>3</sup>/h y una precisión de ( $\pm$ ) 0,01 dm<sup>3</sup>.
- Analizador infrarrojo marca Maihack con rango de CO de 0 a 5%, CO<sub>2</sub> de 0 a 25%, O<sub>2</sub> de 0 a 25% y CH<sub>4</sub> de 0 a 25%.
- Una unidad meteorológica marca Multilog, para la determinación de la presión atmosférica de cada sitio.
- Un altímetro digital marca Casio, para determinar la altitud de cada sitio, con una precisión de ( $\pm$ ) cinco metros.
- Un cronómetro digital marca Casio.

En la tabla 1 se muestran los diámetros de los inyectores utilizados en los diferentes ensayos.

El fabricante de los inyectores especifica una tolerancia de 2,54 x 10<sup>-3</sup> mm, no especifica ningún valor para el coeficiente de descarga.

### Resultados

En la tabla 2 se presentan la altitud y presión atmosférica de los sitios donde se realizaron los ensayos.

En las tablas 3, 4 y 5 se registran los datos de temperatura, presión, factor de corrección, volumen de gas medido, volumen estándar en los quemadores de las cocinas de gas natural y Butano en los tres sitios de ensayo.

**Tabla 1** Diámetro de los inyectores utilizados en mm

<b>Gas</b>	<b>Nº. quemador 1, 2, 4</b>	<b>Nº. quemador 3</b>
Gas natural	1,05	1,15
Butano	0,68	0,77

**Tabla 2** Altitud y presión atmosférica en los sitios de ensayos

<b>Sitio</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Presión atmosférica (mb)</b>
Hostería Real	555	961
Laboratorio de Haceb	1.550	859
Clavel Azul	2.340	779

En la tabla 6 se presenta la variación porcentual de la potencia de los quemadores con respecto al sitio de referencia (quinientos cincuenta y cinco metros) para los dos gases de ensayo.

En la tabla 7 se presenta el tiempo medido para calentar 2 kg de agua a una diferencia de temperatura de 60 °C en los quemadores 2 y 3 de la cocina con gas natural en los tres sitios de ensayo. Conviene recordar que el quemador N°. 3 GN es de mayor potencia que el quemador 2 GN.

### Análisis de resultados

De los resultados obtenidos se observa cómo el volumen medido se incrementa a medida que la altitud se aumenta. Así por ejemplo, en el quemador 1 GN el incremento porcentual del volumen con respecto al sitio de referencia, fue en Medellín del 5,2% y a 2.340 m de altitud 7,4%. Si bien el volumen medido se aumenta, dado que

**Tabla 3** Registro de mediciones en hostería real (555 m)

<b>N.Q</b>	<b>H</b>	<b>t (min)</b>	<b>Pg (mbar)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Fc</b>	<b>Vd (dm³)</b>	<b>Vst (dm³)</b>
1B	9:55 - 10:10	3	29	27	0,94	2,73	2,56
1'B	10:10 - 10:25		29	27	0,94	1,02	0,96
2B	10:25 - 10:40	3	29	28,2	0,93	2,67	2,50
2'B	10:40 - 10:45	3	29	28,3	0,93	0,97	0,91
3B	10:50 - 11:04	3	29	28,9	0,93	3,45	3,22
3'B	11:04 - 11:10	3	29	29	0,93	1,00	0,93
4B	11:15 - 11:29	3	29	29,6	0,93	2,65	2,47
4'B	11:35 - 11:38	3	29	29,7	0,93	0,99	0,92
0B	11:50 - 12:13	3	29	29,7	0,93	10,68	9,93
1GN	12:45 - 13:00	3	20	31,8	0,92	9,49	8,68
1'GN	13:03 - 13:07	3	20	31,8	0,92	2,63	2,41
2GN	13:12 - 13:27	3	20	31,8	0,92	8,82	8,07
2'GN	13:27 - 13:31	3	20	32,1	0,91	2,36	2,16
3GN	13:33 - 13:48	3	20	32,3	0,91	11,18	10,21
3'GN	13:48 - 13:55	3	20	32,4	0,91	2,86	2,61
4GN	13:57 - 14:11	3	20	32,7	0,91	9,48	8,65
4'GN	14:13 - 14:29	3	20	32,8	0,91	2,91	2,65
0GN	14:29 - 14:41	3	20	32,9	0,91	35,30	32,03

**Tabla 4** Registro de mediciones en laboratorio HACEB (1550 m)

<i>N.Q</i>	<i>H</i>	<i>t (min)</i>	<i>Pg (mbar)</i>	<i>Tg (°C)</i>	<i>Fc</i>	<i>Vd (dm<sup>3</sup>)</i>	<i>Vst (dm<sup>3</sup>)</i>
1B	7:08	3	29,00	21,50	0,86	2,73	2,34
1'B	7:26	3	29,30	21,10	0,86	1,05	0,90
2B	7:35	3	29,00	21,70	0,86	2,72	2,33
2'B	7:52	3	29,30	21,80	0,86	1,00	0,86
3B	8:00	3	29,00	21,90	0,86	3,55	3,04
3'B	8:18	3	29,30	21,90	0,86	1,06	0,91
4B	8:23	3	29,00	22,10	0,86	2,71	2,32
4'B	8:44	3	29,20	22,20	0,86	1,02	0,87
0B	8:59	3	29,00	22,40	0,86	10,98	9,39
1GN	11:08	3	20,00	23,80	0,84	10,01	8,43
1'GN	11:30	3	21,50	23,80	0,84	2,78	2,35
2GN	11:38	3	20,00	23,80	0,84	9,93	8,36
2'GN	11:54	3	21,60	23,80	0,84	2,49	2,10
3GN	12:05	3	20,00	23,70	0,84	11,70	9,85
3'GN	12:22	3	21,60	23,70	0,84	3,02	2,55
4GN	13:05	3	20,00	23,70	0,84	10,00	8,42
4'GN	13:22	3	21,40	23,70	0,84	3,12	2,63
0GN	13:35	3	20,00	23,40	0,84	36,55	30,81

**Tabla 5** Registro de las mediciones en Clavel Azul (2340 m)

<i>N.Q</i>	<i>Hora</i>	<i>t (min)</i>	<i>Pg (mbar)</i>	<i>Tg (°C)</i>	<i>Fc</i>	<i>Vd (dm<sup>3</sup>)</i>	<i>Vst (dm<sup>3</sup>)</i>
1B	8:37	3	29,00	20,90	0,78	2,90	2,26
1'B	8:53	3	29,20	21,10	0,78	1,11	0,86
2B	9:09	3	29,00	21,40	0,78	2,88	2,25
2'B	9:20	3	29,30	21,70	0,78	1,05	0,82
3B	9:46	3	29,00	21,90	0,78	3,75	2,92
3'B	9:55	3	29,00	22,00	0,78	1,09	0,85
4B	10:07	3	29,00	22,30	0,78	2,85	2,22
4'B	10:45	3	29,20	22,50	0,78	1,07	0,83
0B	10:50	3	29,00	23,10	0,78	11,79	9,15
1GN	11:32	3	20,00	24,00	0,76	10,245	7,84
1'GN	11:49	3	21,50	24,10	0,77	2,81	2,15
2GN	11:56	3	20,00	24,30	0,76	10,28	7,86
2'GN	12:11	3	21,60	24,60	0,76	2,55	1,95
3GN	12:15	3	20,00	24,90	0,76	12,19	9,30
3'GN	12:30	3	21,60	25,00	0,76	3,12	2,38
4GN	12:37	3	20,00	25,10	0,76	10,32	7,86
4'GN	12:50	3	21,50	25,10	0,76	3,18	2,43
0GN	12:57	3	20,00	24,90	0,76	38,33	29,23

*N.Q*: Número del quemador ensayado.

*B*: Quemador ensayado con butano.

*G.N*: Quemador ensayado con gas natural.

*t*: Tiempo de realización del ensayo.

**Tabla 6** Variación porcentual de la potencia de los quemadores con respecto al sitio de referencia (555 m)

<b>Gas natural</b>						
<b>Altitud</b>	<b>% 1 GN</b>	<b>% 2 GN</b>	<b>% 3 GN</b>	<b>% 4 GN</b>	<b>% 0 GN</b>	<b>Promedio</b>
555	0	0	0	0	0	0
1.550	3	3,65	3,52	3,2	4,44	3,562
2.340	9,6	9,41	9,01	9,084	9,34	9,3208

<b>Butano</b>						
<b>Altitud</b>	<b>% 1 B</b>	<b>% 2 B</b>	<b>% 3 B</b>	<b>% 4 B</b>	<b>% 0 B</b>	<b>Promedio</b>
555	0	0	0	0	0	0
1.550	6,6	4,77	3,84	4,49	3,79	4,698
2.340	10,19	8,28	7,79	8,81	6,52	8,318

**Tabla 7** Tiempo de calentamiento de 2 kg de agua a diferentes altitudes

<b>Altitud (metros)</b>	<b>Tiempo 2 GN (min)</b>	<b>Tiempo 3 GN (min)</b>
555	8,20	7,74
1550	8,52	8,20
2340	9,84	8,50

el factor de corrección se disminuye con la altitud (0,9151, 0,842 y 0,76 respectivamente), el volumen estándar equivalente se disminuye: 8.684, 8.428 y 7.836 dm<sup>3</sup>.

Dado que la potencia térmica se define como:

$$Pt = Q_{st} \times PCI \quad (4)$$

Y el poder calorífico está definido en condiciones estándar, entonces al disminuir el caudal estándar ( $Q_{st}$ ), la potencia se disminuye. En la tabla 8 se ilustran los valores de potencia obtenidos durante los ensayos.

Otra forma de ver el efecto de altitud sobre la potencia es comparar los tiempos de calentamiento para una misma masa de agua en las tres altitudes. En la tabla 7 para el quemador 1 GN y 3 GN se observa cómo el tiempo se incrementa a medida que la altitud se aumenta, lo cual explica la disminución de potencia.

Si se tienen en cuenta los promedios de las variaciones porcentuales de la potencia con el incremento de altura con respecto al sitio de referencia (555 m), se obtiene en la figura 2 un comportamiento cuya función de correlación es:

$$Y = 0.0049X - 0.2309 \quad (5)$$

Donde:

Y: Variación porcentual de potencia.

X: Incremento de altura con respecto al lugar de referencia de 555 m.

De la función anterior, se concluye, como indicador de tendencia que la tasa de variación porcentual por metro de altitud es 0,0049%, lo cual significa que la pérdida de potencia por cada 304 m (1.000 pies) es de 1,5%.

La literatura estadounidense [11] considerando como temperatura del sitio de referencia 15,5 °C registran un indicador teórico de 1,67% de disminución de la potencia por cada 304 m de incremento de la altitud. En este trabajo se ha encontrado que la disminución es de 1,5%, trabajando con un estado de referencia donde la temperatura promedio durante los ensayos fue de 29 °C.

Conviene insistir que el indicador estadounidense es teórico, es decir que no tiene en cuenta las

tolerancias dimensionales en el diámetro de los inyectores y la incidencia de la temperatura ambiente en el factor de corrección.

### Conclusiones

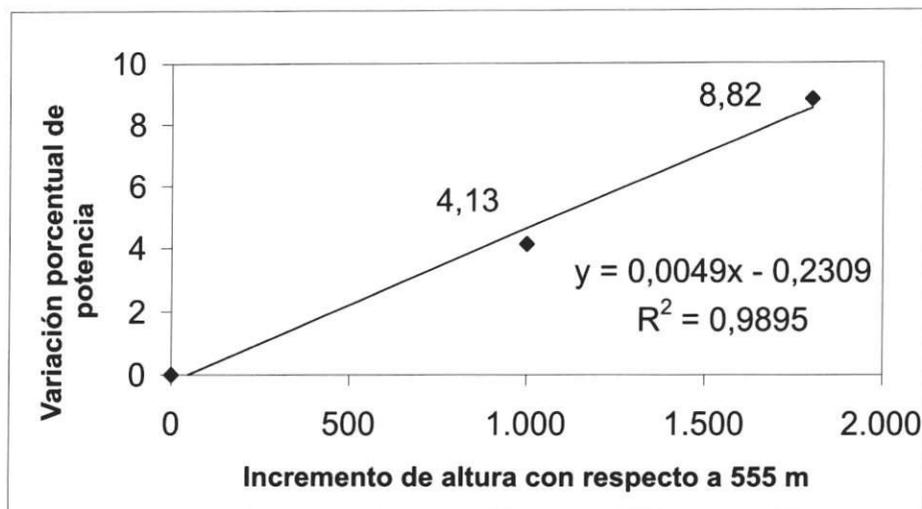
- De los resultados obtenidos en este trabajo se concluye que el incremento de altitud en un sistema de combustión atmosférica a baja presión (menor a 100 mbar), tiene los siguientes efectos:

**Tabla 8** Determinación de la potencia a diferentes altitudes en quemadores de cocina

<b>Gas natural (Potencia en kW)</b>						
<b>Altitud (m)</b>	<b>1 GN</b>	<b>2 GN</b>	<b>3 GN</b>	<b>4 GN</b>	<b>0 GN</b>	<b>1, 2, 4, GN promedio</b>
555	1,6369	1,6354	1,9253	1,6303	6,078	1,6343
1.550	1,5877	1,5756	1,8575	1,5877	5,808	1,5837
2.340	1,4771	1,4814	1,7517	1,4822	5,51	1,4802

<b>Butano (potencia en kW)</b>						
<b>Altitud (m)</b>	<b>1 B</b>	<b>2 B</b>	<b>3 B</b>	<b>4 B</b>	<b>0 B</b>	<b>1, 2, 4 B promedio</b>
555	1,606	1,57	2,028	1,56	6,28	1,579
1.550	1,5	1,495	1,95	1,49	6,042	1,495
2.340	1,4423	1,44	1,87	1,4225	5,87	1,435



**Figura 2** Variaciones porcentuales de la potencia con el incremento de altura

- El volumen de gas se aumenta.
  - El factor de corrección se disminuye.
  - El volumen estándar equivalente se disminuye.
  - La potencia térmica se disminuye.
  - El tiempo de calentamiento de una masa de determinada sustancia se aumenta.
- Las condiciones en las que se realizaron los ensayos en este trabajo, permite insinuar como un medidor o indicador de tendencia, que la potencia disminuye aproximadamente 1,5% por cada 304 m de incremento de altitud.
  - Es importante caracterizar el tipo de quemador y sistema de combustión instalado en los equipos en regiones con altitudes mayores de 100 m, de tal forma que se pueda tener una idea de su configuración geométrica, flexibilidad y potencia térmica. Ello con el propósito de estudiar si una reducción de potencia situada entre la natural y la recomendada por la norma americana, sea suficiente para evitar emisiones de CO superiores al límite crítico.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Industrias HACEB por su contribución financiera para la realización de los ensayos de este proyecto y también por el soporte logístico y técnico brindado.

### Referencias bibliográficas

1. Kam, V. P. "High Altitude Installation of Gas-Fired Appliances", International Gas Research Conference. Cannes. Francia. 6-9 de noviembre de 1995.
2. Eiseman, J. H. "The Effect of Altitude on the Limits of Safe Operation of Operation of Gas Appliances". *NBS Report 553*. Mayo, 1993.
3. "Effect of High Altitude Upon Gas Furnace Operation". Muller, J.C. and Morris, L.C., 1938 P.C.G.A. Proceeding, p. 209.
4. Suffron. F.O and Simmons. O.N. "The Effect of Altitude on the Performance of Gas Appliance". *AGA*, mensual. Sept., 1939.
5. "Effect of Altitude on Gas Appliance Performance", Laboratories Managin and Approval Requirements Committee Investigation, Report No 1004-A. The American Gas Association Testing Laboratories. Febrero, 1944.
6. R.D. Sheridan. "The Effect of Altitude on the Operation of Gas Appliance", *Gas Research Institute*. Diciembre, 1988.
7. Gas Research Institute. "High Altitude Instalation of Natural Gas-Fired Appliaces with Fan-Assisted Combustion Systems". *American Gas Association Laboratories*. January 1995.
8. A. Amell, E. Gil., Cadavid F. "Incidencia de factores geométricos y de flujo sobre la aireación primaria de un quemador atmosférico a gas". *Energética* No. 21. Agosto, 1999. pp. 65-81.
9. A. Amell. "Teoría de descarga en inyectores u orificios de combustibles gaseosos". Documento en edición previa, *CESET Universidad de Antioquia*. Agosto de 2000.
10. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. NTC 2832-1: Ensayos de comportamiento de gasodomésticos.
11. Gas research institute. The effect altitude on the operation gas appliance. Diciembre, 1998.