

Estudio de las emisiones de monóxido de carbono en artefactos domésticos de gas instalados en el Valle de Aburrá

*Elías Gómez, Doris Llanos, Eliana Cataño,
John Múnera, Jorge Mejía **

Resumen

Se evaluaron los niveles de emisión de monóxido de carbono en cocinetas y calentadores de agua de las marcas comerciales más usadas en la ciudad de Medellín, que utilizan gas natural y gas licuado del petróleo, para determinar los factores de mayor incidencia sobre la producción del contaminante y los fenómenos indeseables en la llama (puntas amarillas, retrollama, desprendimiento).

Se encontró que son determinantes la aireación primaria, el tipo de mezclador para el aire y gas combustible y la ventilación del recinto donde está ubicado el artefacto. En equipos que no disponen de mezclador convergente-divergente (tipo venturi), las emisiones superaron el límite establecido por la norma.

----- *Palabras clave:* gasodomésticos, emisiones de monóxido, contaminación ambiental, control de emisiones.

Abstract

The levels of carbon monoxide emission in stoves and water heaters of the most used trade marks in the city of Medellin, were evaluated by using Natural Gas and Petroleum Liquid Gas to determine the factors of mayor incidence upon the production of the contaminant and the undesirable phenomena in the flash (flashback, lift, yellow tips).

It was found that primary air rate, mixer type for the air and the fuel gas and the ventilation area where the device was placed are fundamental. In equipment that doesn't stipulate the convergent-divergent mixer (venturi type), the emissions overcame the limit set up by the standard.

----- *Key words:* gas appliances, carbon monoxide emissions, atmospheric pollution, emissions control.

* Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.

1. Introducción

El uso de combustibles gaseosos para diferentes procesos en los sectores residencial, comercial e industrial se está incrementando, teniendo como base el Programa de Masificación del Gas, que busca reducir el elevado consumo de electricidad para calentamiento y garantizar el uso racional de los recursos energéticos.

La combustión de gas natural y gas licuado del petróleo (G.L.P.) es más limpia que la de carbón y combustibles líquidos derivados del petróleo. Si embargo, pueden presentarse altas emisiones de contaminantes como el monóxido de carbono (CO); la exposición a este gas ocasiona cefalea, cansancio, debilidad, náusea y, si las concentraciones altas persisten, puede producir dificultad respiratoria, inhabilidad muscular, colapso y muerte; esto se presenta por concentraciones elevadas en sitios cerrados. Normalmente el efecto es mortal cuando el 70% de la hemoglobina se convierte a carboxihemoglobina; los efectos son mayores en personas que residen a gran altitud [4]. Además de los riesgos para la salud, la producción de CO es indicativa de baja eficiencia térmica. Este contaminante se produce principalmente por una baja entrada de aire primario y su mezcla deficiente con el gas combustible.

En este estudio se determinaron los niveles de emisión de CO en los gasodomésticos (cocinetas y calentadores de agua) de las marcas más usadas a nivel residencial en la ciudad de Medellín, se identificaron los factores de mayor incidencia en su formación y se establecieron algunas indicaciones para su control.

2. Parte experimental

Inicialmente se identificaron los factores que inciden en la formación de monóxido de carbono, hallándose la entrada de aire primario y la geometría del mezclador como las más determinantes. Luego se realizaron pruebas de laboratorio con gas natural y gas licuado del petróleo en cocinetas comerciales de cuatro marcas diferentes (Haceb, Challenger, Bachué, Rinnai)

modificando la obturación del aire primario y analizando la premezcla y los gases de combustión; se definieron así las condiciones más adecuadas de operación del artefacto (niveles de CO por debajo del límite permisible, ausencia de fenómenos indeseables como desprendimiento de llama, puntas amarillas, hollín, retrollama).

Los datos obtenidos en la Campaña educativa para el manejo seguro y eficiente de los combustibles gaseosos en el municipio de Medellín [7] mostraron que las cocinetas más usadas son de las marcas Haceb y Challenger, y los calentadores Centrales y Shimasu instalados para trabajar con gas licuado del petróleo, artefactos que están ubicados en condiciones locativas similares en cuanto a la aireación y capacidad de evacuación de humos. En estos equipos residenciales se hicieron análisis de gases de combustión manteniendo el aparato sin modificaciones.

Para medir el flujo de gas se utilizó un medidor de volumen de sello húmedo, la rata de aireación primaria se determinó mediante un balance de materia para el oxígeno entre el aire primario y la premezcla:

$$n = Y'O_2 / \{Va * (YO_2 - Y'O_2)\}$$

En la cual:

$Y'O_2$ = fracción molar de oxígeno en la premezcla

YO_2 = fracción molar de oxígeno en el aire

Va = volumen de aire teórico, m^3 aire/ m^3 gas

Durante la experimentación se mantuvieron constantes la composición del gas, la presión de suministro, las características geométricas del quemador y la altitud. Se utilizó un analizador de gases de combustión tipo infrarrojo no dispersivo, siguiendo el método establecido por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), que recopila las Normas UNE 1990 relacionadas con aparatos que utilizan gas como combustible; esta norma establece para el CO una concentración máxima de 0,2% en volumen [8].

3. Resultados y discusión

3.1 Pruebas en laboratorio

3.1.1 Cocineta Haceb

Cada uno de los quemadores está provisto de un tubo mezclador para el aire y el gas, sin efecto venturi; abrazada al tubo hay una lámina metálica, sostenida por un tornillo y mediante la cual puede variarse la entrada de aire primario deslizando sobre el tubo. Fue posible hacer sólo dos variaciones de la posición de la lámina. En los resultados para el gas licuado del petróleo que aparecen en la tabla 1 se observa que las emisiones superaron el límite permitido, además se presentaron puntas amarillas, lo cual puede deberse a la falta de venturi que no facilita la mezcla homogénea entre el gas y el aire. En la tabla 1 también están los resultados para gas natural; se observa que para la variación lograda en el aire primario, los niveles de CO están por debajo del límite permisible y la llama es azul.

Tabla 1 Emisiones de monóxido de carbono en una cocineta Haceb

	m^3 aire primario / m^3 aire teórico	% Volumen CO en los gases de combustión	Observaciones
Gas licuado del petróleo	0,4105	0,2467	Demasiadas puntas amarillas
	0,6580	0,2210	Pocas puntas amarillas
Gas natural	0,3798	0,0914	Llama azul
	0,3851	0,0375	Llama azul

La figura 1 muestra que para los mismos valores de aireación primaria las emisiones de CO en la combustión del gas licuado del petróleo es entre dos y seis veces mayores que las del gas natural; al variar la aireación entre 0,3798 y 0,3851 m^3 aire primario/ m^3 aire teórico, las emisiones con gas licuado del petróleo disminuyeron un 0,415% mientras que con gas natural se redujeron en 66,66%.

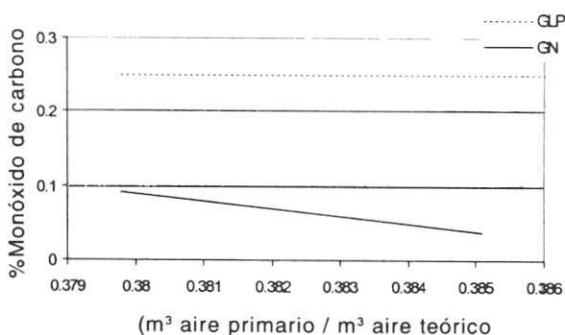


Figura 1 Niveles de CO en una cocineta Haceb que utiliza gas natural y gas licuado del petróleo

3.1.2 Cocineta Bachué

Los quemadores indicados para cada combustible están dotados de tubo mezclador con efecto venturi y el respectivo inyector. Los resultados para el gas licuado del petróleo, se presentan en la tabla 2, donde se observa que todas las emisiones de CO fueron inferiores al límite permisible, manifestándose el efecto venturi en el buen mezclado del aire y combustible; se aprecia también la aparición de puntas amarillas para los extremos de máxima y mínima aireación.

Tabla 2 Emisiones de monóxido de carbono en una cocineta Bachué

	m^3 aire primario / m^3 aire teórico	% Volumen CO en los gases de combustión	Observaciones
Gas licuado del petróleo	0,3801	0,0964	Demasiadas puntas amarillas
	0,4219	0,0344	Llama azul
	0,4831	0,0399	Pocas puntas amarillas
Gas natural	0,379	0,2019	Llama azul, pocas puntas amarillas
	0,384	0,0626	Llama azul
	0,395	0,0	Algunas puntas amarillas

En la tabla 2 también se ven los resultados para gas natural, se observa que para la tasa mínima

de aireación primaria permitida por el artefacto las emisiones están en el tope máximo admisible, reduciéndose a medida que aumenta la aireación.

Esta cocineta presenta mayor sensibilidad en las emisiones para la combustión de gas natural que para el gas licuado del petróleo con el mismo intervalo de aireación primaria (0,3798 a 0,3950 m³ aire primario/m³ aire teórico). En la figura 2 se aprecia mayor sensibilidad en las emisiones para la combustión del gas natural que para la del gas licuado del petróleo al modificar la aireación primaria entre 0,3798 y 0,3950 m³ aire primario/m³ aire teórico.

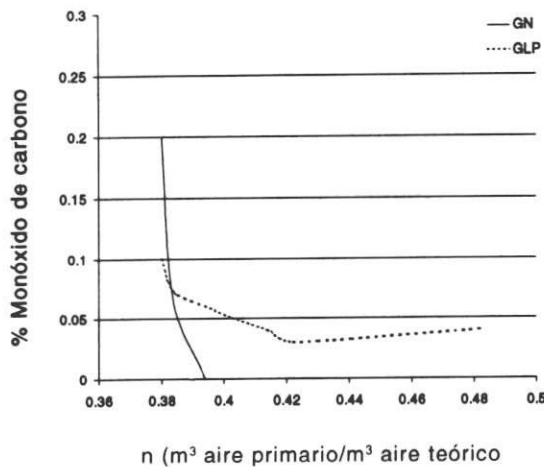


Figura 2 Niveles de CO en una cocineta Bachué que utiliza gas natural y gas licuado del petróleo

3.1.3 Cocineta Challenger

No posee mezclador tipo venturi, sino una sección cónica convergente en posición vertical que termina en la cabeza del quemador. La rata de aireación no se puede modificar porque tiene una distancia fija entre el inyector y la entrada a la sección cónica. Para gas natural, con aireación primaria de 0,260 m³ aire primario/m³ aire teórico, se obtuvo 0,1369%V de CO, que está dentro de la norma. En términos generales, la combustión se caracterizó por llama azul, aunque inicialmente se presentaron fenómenos de ines-

tabilidad como encendido parcial en los puertos y apagado de la llama.

3.1.4 Cocineta Rinnai

Diseñada bajo normas europeas, cada quemador está provisto de tubo mezclador con efecto venturi. Las emisiones de CO se presentan en la tabla 3 para combustión de gas licuado del petróleo. Se observan niveles muy bajos en las emisiones para toda la gama de variación del aire primario. Las características de diseño, principalmente el arrastre de gas y el efecto venturi, ocasionan la elevada aireación primaria y la homogeneización de la mezcla, lográndose una llama muy estable y combustión casi completa.

3.2. Pruebas en residencias

3.2.1 Cocineta Haceb

Las cocinetas estudiadas son mixtas, es decir están compuestas por dos puestos que operan con GLP y una parrilla eléctrica.

Tabla 3 Emisiones de monóxido de carbono en una cocineta Rinnai usando gas licuado de petróleo

<i>m³ aire primario / m³ aire teórico</i>	<i>% Volumen CO en los gases de combustión</i>	<i>Observaciones</i>
0,5835	0,0251	Pocas puntas amarillas
0,6115	0,0278	Llama poco estable
0,6419	0,0248	Llama muy estable

Se hicieron pruebas en tres cocinetas instaladas en lugares diferentes. Las emisiones de CO medidas aparecen en la tabla 4. Dos de los registros de CO más bajos corresponden a las menores ratas de aireación primaria; algunos de los otros registros superan los límites permisibles aunque tienen mayores ratas de aireación primaria.

Tabla 4 Emisiones de monóxido de carbono en cocinetas Haceb usando gas licuado del petróleo

<i>Cocineta</i>	<i>Quemador</i>	<i>m³ aire primario m³ aire teórico</i>	<i>% Volumen de CO en los gases de combustión</i>	<i>Observaciones</i>
1	1	0,4058	0,459	Algunas puntas amarillas. Puntas amarillas (papel aluminio).
	2	0,4248	1,140	
2	1	0,3270	0,181	Llama azul, estable Muchas puntas amarillas (papel aluminio)
	2	0,3484	4,550	
3	1	0,3416	0,080	Pocas puntas amarillas Pocas puntas amarillas
	2	0,4290	0,180	

Es importante el efecto enfriante del papel aluminio sobre los altos niveles de CO (1,14% y 4,55%) y las puntas amarillas.

3.2.2 Calentadores de agua

En el ámbito domiciliario se realizaron análisis de gases de combustión en calentadores de agua de dos marcas comerciales (Centrales y Shimasu) trabajando con G.L.P.

Los resultados se presentan en la tabla 5. En ninguno fue posible determinar la rata de aireación primaria. Los resultados son satisfactorios por cuanto los niveles de CO están por debajo del límite permisible, lo que se debe al correcto diseño del conjunto de quemadores con mezcladores convergente-divergente (tipo venturi) y la presencia del cortatiro que asegura la correcta combustión y la estabilidad de la llama aunque varíe el tiro en el ducto de evacuación de los gases de combustión.

Tabla 5 Emisiones de monóxido de carbono en calentadores de agua usando gas licuado del petróleo

<i>Marca %</i>	<i>Volumen de CO en los gases de combustión</i>	<i>Observaciones</i>
Centrales	0,070	Llama azul
Shimasu	0,060	Llama azul

4. Conclusiones

La aireación primaria es un factor determinante en el comportamiento de la combustión, su manejo adecuado puede garantizar el control necesario en la formación de contaminantes como el CO y en la presencia de fenómenos indeseables en la llama.

El mezclador tipo venturi es importante en los gasodomésticos, no sólo por el mayor efecto de arrastre sobre el aire primario sino por la homogeneización que promueve en la mezcla aire-combustible. La caída de presión del gas en la salida del inyector induce el arrastre de aire pero no garantiza el correcto mezclado previo a la combustión.

Los artefactos deben operarse con el gas para el cual se han diseñado, de lo contrario, las emisiones de CO pueden incrementarse y presentar fenómenos de inestabilidad porque los requerimientos de aire teórico y la potencia calorífica difieren para cada gas.

La longitud del mezclador no tiene influencia significativa sobre las emisiones de CO en los gasodomésticos estudiados.

Las altas tasas de aire primario pueden perjudicar la combustión y favorecer los elevados niveles de CO debido al enfriamiento de la llama.

La ventilación de la vivienda y en particular del área donde está ubicado el gasodoméstico influye de manera importante en las emisiones de CO; por lo que es necesario que se garantice adecuada ventilación para que haya intercambio permanente del aire atmosférico del lugar y evitar corrientes directas de aire que ocasionan enfriamiento de la llama generando aumento en las emisiones de CO y problemas de inestabilidad.

La presencia de diferentes materiales como carbón, plásticos, papel aluminio o residuos de alimento cerca de la llama incrementa la formación de puntas amarillas y hollín así como los niveles de CO.

5. Recomendaciones

Los fabricantes de gasodomésticos deben incluir el mezclador convergente-divergente para garantizar mayor homogeneización de la mezcla aire-combustible y los bajos niveles de CO.

Los organismos de normalización y calidad deben desarrollar medidas de control y regulación frente a la fabricación y funcionamiento de los equipos que no garantizan operación eficiente dentro de los niveles permitidos de emisión, por deficiencia en la aireación primaria.

Agradecimientos

El proyecto se realizó gracias al apoyo financiero del Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI), al apoyo administrativo y logístico del Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería (CIA) y del Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía.

Referencias

1. Bartok, W., *Fossil Fuel Combustion, a Source Book*, John Wiley and Sons. pp 291-282. 1991.
2. Borrazzo, J. E *et al.* "Modelling and Monitoring of CO, NO, and NO₂ in a Modern Townhouse", *Atmospheric Environment*. Vol. 1 No. 2, 299. 1986.
3. British Gas, *Combustion engineering and gas utilisation*, J.R. Cornfoth, Chapman and Hall, 1992.
4. De Nevers, N. *Air Pollution Control Engineering*, McGrawHill. pp 501-505. 1995.
5. Dupont C., "La combustion des gaz et les flammes", *Collection des technique gazières, Association Technique de Industrie du Gaz en France*, 52-85, 1973.
6. Relwani, S.m. Y Moschandreas, D.J. "Effects of Operational Factors on Pollutant Emission Rates from Residential Gas Appliances", *Journal of the Air Pollution Control Association*. 36, 1.233. 1986.
7. Simpad, U. de A. *Campaña educativa para el manejo seguro y eficiente de los combustibles gaseosos en el municipio de Medellín*, Imprenta Municipal, 1998.
8. Aenor. Recopilación de Normas UNE. Aparatos que utilizan gas como combustible, *Ingeniería Mecánica*, Tomo III, Madrid, 1990.