

Impacto de los consumos pasivos en artefactos a gas - Eficiencia de calefones

E.J. Bezzo¹, A.Bermejo², P.L. Cozza², J.A. Fiora², M.A. Maubro¹, J.M. Miotto¹, R. Prieto¹ y S. Gil^{1,3}

sgil@enargas.gov.ar

¹ Gerencia de Distribución – ENARGAS -Suipacha 636-Buenos Aires (1008) Argentina.

² INTI-Energía- Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 41, San Martín, B.A. (1650) Argentina.

³ Universidad Nacional de San Martín, ECyT - Campus Miguelete- San Martín B.A. (1650) Argentina.

ELAEE 2011 - Buenos Aires - 2011

Resumen

En este trabajo se analiza el impacto de los consumos pasivos de los artefactos a gas en la Argentina. En particular, se presentan los resultados preliminares de los ensayos de comparación de los consumos de gas entre artefactos de calentamiento instantáneo de agua que eliminan los pilotos, y artefactos convencionales, para el caso de calentadores de agua instantáneos (calefones). También se discute un nuevo método de determinación de eficiencia, que incluye los consumos pasivos.

Estimaciones preliminares indican que los ahorros que pueden lograrse con equipos que eliminen los consumos pasivos (pilotos) son muy significativos y comparables con los volúmenes de gas que actualmente el país importa. Asimismo, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es muy importante. Estas estimaciones, hacen que un plan de cambio de equipos de calentamiento de agua, por sistemas más eficientes, sea una opción que deba analizarse cuidadosamente.

El nuevo esquema de determinación de eficiencia es de mucha relevancia para diseñar un sistema de etiquetado de eficiencia de calefones. Hay mucha evidencia internacional que sugiere que el etiquetado de artefactos es una herramienta poderosa para concientizar e inducir a los usuarios a realizar opciones energéticamente más eficientes. Usuarios mejor informados, demandan equipos más eficientes y en respuesta la industria introduce la eficiencia como elemento de marketing y competencia, generándose así un círculo virtuoso de mayor eficiencia en el uso de la energía.

“Eficiencia Energética es una fuente de energía de bajo costo que no contamina”

Introducción

Se espera que el consumo de energía en el mundo se incremente en cerca del 50% en los próximos 30 años. Estudios preliminares indican que si no se modifican las pautas de consumo, en la Argentina se duplicará durante este período. Esta situación nos confronta con varios desafíos. Nuestras reservas de combustibles fósiles son limitadas y los precios internacionales presentan una gran volatilidad y el abastecimiento de fuentes externas son altamente imprevisibles. Al mismo tiempo, hay evidencias cada vez más claras que el calentamiento global que está experimentando la Tierra tiene causas antropogénicas. Es prudente e imperioso que disminuyamos nuestras emisiones de gases de efecto de invernadero.

El uso racional y eficiente (URE) de la energía es claramente un componente insoslayable en la búsqueda de soluciones a los desafíos energéticos del presente y futuro. De hecho el URE forma parte de las políticas energéticas de los países desarrollados. En ese sentido el Decreto 140/2007, declaró de interés y prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía en Argentina y puso en vigencia el PROGRAMA NACIONAL DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGIA (PRONUREE). El URE debe propender a lograr una mejor gestión de la energía y los recursos disponibles, a la par de reducir la inequidades, evitar el deterioro del medio ambiente y mejorar la competitividad de las empresas.

En la Argentina, el gas natural constituye la componente principal de la matriz energética, aportando algo más del 50% de la energía primaria del país. De todo el gas consumido, alrededor del 30% se distribuye a través de redes a los usuarios Residenciales, Comerciales y Entes Oficiales. Las consideraciones de eficiencia en este sector han recibido escasa atención en el pasado. En ese sentido, el etiquetado energético de los artefactos a gas, es una medida muy importante para posibilitar que los usuarios elijan los sistemas más adecuados y eficientes para satisfacer sus necesidades. En particular es importante incluir los consumos pasivos (por ejemplo pilotos) de los artefactos a gas en las evaluaciones de su eficiencia. Como veremos más adelante, los consumos de los pilotos son significativos y los mismos están presente no solo en los artefactos de calentamiento de agua sino también en los sistemas de calefacción. Por lo tanto hay en general más de un piloto por usuario.

Del análisis del consumo de gas natural en la Argentina^{1,2,3,4,5} surgen algunas características notables. Una de ellas es que el consumo específico de los usuarios residenciales, es decir, el consumo diario por usuario, tiene un comportamiento muy similar y regular en casi todo el país. En este trabajo el término usuario se refiere a la vivienda conectada a la red. Según el INDEC,⁶ el número de personas por vivienda, de condición media es de 3,3. En la figura 1 se muestra la variación de este consumo como función de la temperatura para la mayoría de las ciudades del país. Esta figura es representativa de prácticamente todas las regiones estudiadas, excepto la zona sur. Se observa que los consumos

específicos residenciales (R) tienen dependencia muy regular con la temperatura. Este comportamiento se ha mantenido prácticamente invariante a lo largo de los últimos 17 años e independiente del contexto económico.

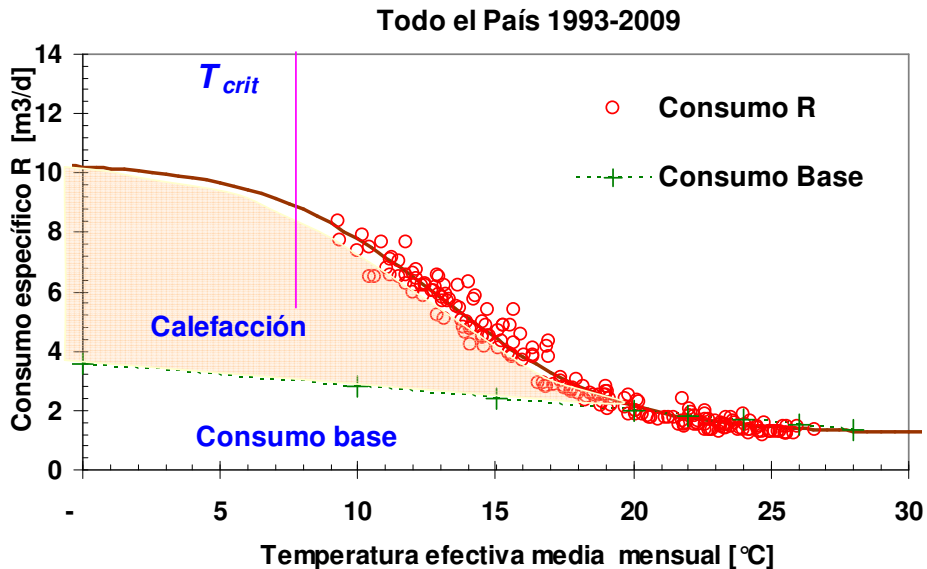


Figura 1. Variación de los consumos específicos R (residencial, círculos). La línea de puntos es una extrapolación del consumo base y muestra su dependencia con la temperatura. Los consumos específicos que se grafican son los promedios diarios mensuales como función de la temperatura media mensual. En un periodo de un mes, la temperatura media mensual coincide con las temperaturas efectiva mensuales.^{1,2} El área sombreada indica el consumo asociado con la calefacción. Los datos corresponden a todo el país, exceptuado la zona sur del país.

A altas temperaturas medias, mayores a unos 20 °C, aproximadamente, el consumo de gas es casi constante, este consumo está asociado al calentamiento de agua y cocción. A esta componente del consumo residencial, lo denominaremos *consumo base*. A medida que baja la temperatura, los usuarios comienzan a encender la calefacción. Una vez que toda la calefacción disponible está encendida, el consumo de nuevo se estabiliza a un valor de saturación. Por lo tanto, es posible afirmar que durante el período 1993 a 2009, el comportamiento de los usuarios R fue constante en el tiempo y poco elástico. *Esto significa que los patrones de consumo residenciales sólo dependen de la temperatura y no del tiempo.*

Consumo de gas en edificios y viviendas

Un modo de estimar el consumo base de gas natural, consiste en suponer que éste coincide con el consumo R durante los meses de verano. El consumo base tiene un ligero incremento en los meses de invierno debido a que en estos meses, al partir de una temperatura menor, se requiere más energía para calentar un dado volumen de agua. La componente del consumo R tiene un gran incremento a medida que las temperaturas descienden, ver Fig.1, como consecuencia del encendido de la calefacción.

Un modo de estimar la variación del consumo base con la temperatura, consiste en realizar una extrapolación lineal de los consumos a las temperaturas más altas. Esta extrapolación se indica en la Fig. 1 por la línea de puntos y se puede expresar por la expresión:

$$Q_{Base}^{(Específico)}(T)[m^3 / día] = 3.6 - 0.08 \cdot T[°C] \quad (1)$$

La pendiente de esta recta, implica que si la temperatura ambiente descendiese 10°C, se incrementaría el consumo base en unos 0,8 m³, equivalentes a 7400 kcal. Esta energía, suponiendo una eficiencia de 0,6, podría calentar una masa de agua de unos 440 l con un $\Delta T=10^\circ\text{C}$. Este dato nos permite estimar el requerimiento de agua caliente por usuario, si suponemos que esta masa de agua se usa parcialmente en cocción, suponiendo que para este fin se emplea unos 40 l de agua equivalentes, obtenemos una estimación de 400 l/día de agua caliente. Suponiendo 3,3 personas por vivienda, obtenemos un requerimiento de agua caliente de unos 120 l/día/persona. Este volumen de agua es consistente un uso 8 l/min durante unos 50 minutos. Este consumo se corresponde a 3 a 4 duchas días y unos 30 minutos de lavado de platos, manos, etc. Teniendo en cuenta todos estos parámetros, se considera una cantidad típica de uso de agua caliente en las viviendas abastecidas por gas natural en la Argentina del orden de 100 litros/habitante/día.

Una vez caracterizado el consumo base, estamos en condiciones de separar el consumo base del consumo por calefacción. En la Fig. 2 se muestra la variación de los consumos de base y para calefacción mes a mes para los años 2006 y 2007 para todo el país. Se observa que el consumo para calefacción de edificios/viviendas varía entre el 59% y 64,3 % del total del consumo residencial. Estos mismos porcentajes se aplican a los consumos comerciales y de edificio públicos. El incremento de este porcentaje en el año 2007 respecto del año 2006 es explicable por el hecho que el año 2007 fue uno de los años más fríos de las últimas décadas, mientras que el año 2006 tuvo un invierno moderado. Esta información es muy útil para diseñar estrategias efectivas para lograr un uso racional y eficiente de la energía.

Protocolo de ensayo

Con el objeto de diseñar un ensayo que incluya la incidencia de los consumos pasivos en la determinación de la eficiencia de los artefactos de calentamiento de agua, es necesario acordar un protocolo de ensayo que simule los consumos de agua caliente representativa de un usuario típico. Si analizamos como se distribuye el consumo base, podemos considerar el consumo específico observado a $T \approx 20^\circ\text{C}$, el cual es de aproximadamente 2 m³/día/usuario. Una distribución de consumo posible se indica en la Tabla 1.

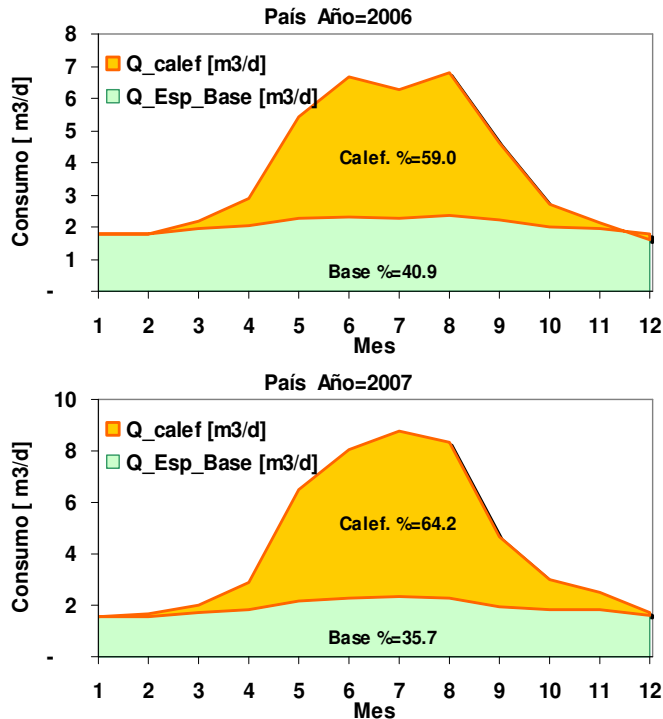


Figura 2. Consumos mensuales R. a lo largo de los años 2006 y 2007. Los consumos de los meses de verano permiten caracterizar los consumos base. Si atribuimos los consumos adicionales en los meses más fríos a los usos de calefacción, vemos que el consumo de calefacción de edificios varía entre el 59% y 64,2 % del total de del consumo R. El incremento de este porcentaje en el año 2007 respecto del año 2006 es explicable en términos que el año 2007 fue uno de los años más fríos de las últimas décadas, mientras que el año 2006 tuvo un invierno moderado.

Tiempos estimados de uso	Consumo medio	Consumo medio	Consumo Diario	Consumo Diario
Tiempo (min/día)	Actividad	kcal/h	kcal/día	m ³ /día
90	Cocción	1.800	2.700	0,3
65	Calentamiento agua	14.700	15.950	1,7
	Consumo específico base			2,0

Tabla 1. Modelo propuesto de distribución del consumo base por usuario.

Claramente las formas de consumo varían de usuario a usuario, sin embargo, los consumos indicados en la Tabla 1, son compatibles con el consumo específico observado de 2 m³/día. Por simplicidad, consideramos que el artefacto de calentamiento de agua es homologable a un calefón de 21 000 kcal/h usado a un 70% de su consumo máximo, o sea a una potencia de 14 700 kcal/h. Bajo estas hipótesis, obtenemos los consumos medios indicados en la Tabla 1.

Con el objetivo de diseñar un esquema de consumo, que simule los requerimientos de agua caliente de un usuario típico, se propone un protocolo de consumo indicado en la Fig. 3.

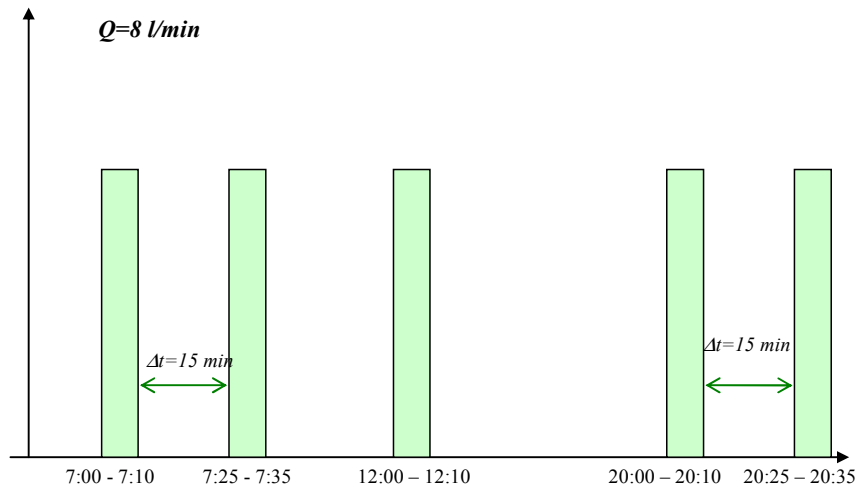


Figura 3. Protocolo de consumo de agua caliente en una vivienda típica, a un caudal de 8 l/min. Con este esquema de consumo, el requerimiento de agua caliente por usuario es de 400 l/día.

Ensayos de eficiencia

Según la norma NAG-313⁷ el rendimiento de los calefones, η_{equi} , se calcula como el cociente entre el calor entregado al agua, Q_{agua} durante un cierto tiempo para un diferencial de temperatura preestablecida entre la entrada y salida, y el calor suministrado por el gas, Q_{gas} :

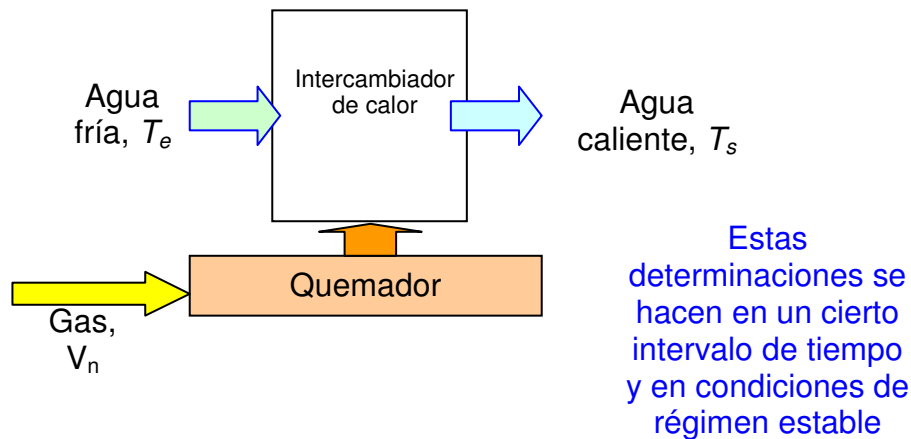


Figura 4. Prototipo esquemático del ensayo para la determinación del rendimiento de un calefón.

$$\eta_{equi} = \frac{Q_{agua}}{Q_{gas}^{equi}} = \frac{C_{agua} \cdot m_{agua} \cdot \Delta T}{H_{gas} \cdot V_{gas}}, \quad (2)$$

Aquí, H_{gas} es el poder calorífico superior del gas, V_{gas} es el volumen de gas consumido durante el ensayo. C_{agua} el calor específico del agua y $\Delta T = T_s - T_e$, el

incremento de la temperatura del agua a la salida y entrada del equipo. Es importante destacar que esta eficiencia no tiene en cuenta ningún consumo de gas pasivo, como por ejemplo el consumo de los pilotos.

Por otra parte, podemos definir la eficiencia global del equipo, para ello, se propone un protocolo de consumo como el indicado en la Fig. 3. En el transcurso de un dado número de días que dura el ensayo, habremos utilizado volumen de agua, m_{agua} .

Definimos la eficiencia efectiva o global, η_{glob} , del artefacto como:

$$\eta_{glob} = \frac{Q_{agua}^{(norm)}(kcal)}{Q_{gas}^{(glob)}(kcal)} \quad (3)$$

Donde el consumo $Q_{agua}^{(norm)}(kcal) = m_{agua} \cdot C_{agua} \cdot \Delta T_0$, es el calor ganado por el agua durante el ensayo. Además, para normalizar el ensayo, partimos del agua de entrada a una temperatura ambiente de 20°C y una temperatura final de 42°C. Es decir el salto térmico considerado es $\Delta T_0 = 22K$. Por consiguiente el valor de calor necesario para calentar esta masa de agua normalizada es:

$$Q_{agua}^{(norm)}(kcal) = m_{agua} \cdot C_{agua} \cdot \Delta T_0 = 400kg \cdot 1kcal / K \cdot kg \cdot 22K = 8800 kcal, \quad (4)$$

es decir el valor de $Q_{agua}^{(norm)}$, es un valor fijo y constante. El consumo global de gas será:

$$Q_{gas}^{(glob)} = Q_{gas}^{(norm)} + Q_{pil} \quad (5)$$

Con Q_{pil} es el consumo del piloto durante un día. Según la Ec.(2), el gas necesario para lograr esta cantidad de agua caliente con el calefón en estudio es:

$$Q_{agua}^{(norm)}(kcal) = \eta_{que} \cdot Q_{gas}^{(norm)}(kcal) \quad (6)$$

De este modo, el consumo de gas del artefacto en cuestión, a lo largo de un año, se puede calcular como:

$$Q_{gas}^{(anual)}(m^3) = 365 \cdot \left[\frac{Q_{agua}^{(norm)}(kcal)}{H_g(kcal/m^3) \cdot \eta_{que}} + Q_{pil}(m^3/d) \right] \approx \left[\frac{345}{\eta_{que}} + (175) \right] m^3 / año. \quad (7)$$

En esta expresión $H_g(kcal/m^3)$ es el poder calorífico superior del gas, (para GN $H_g = 9300 kcal/m^3$). El término en paréntesis de la Ec.(7) es el consumo del piloto al año, solo se incluye si el artefacto tiene este elemento. El consumo del artefacto al año es un dato que normalmente se indica en las etiquetas de eficiencia energética y permiten comparar los consumos de distintos equipos en condiciones de funcionamiento comparables.

Combinando las Ecs. (2) a (6) tenemos:

$$\eta_{glob} = \frac{Q_{agua}^{(norm)}}{Q_{gas}^{(norm)} + Q_{pil}} = \frac{1}{\frac{Q_{gas}^{(norm)}}{Q_{agua}^{(norm)}} + \frac{Q_{pil}}{Q_{agua}^{(norm)}}} = \frac{1}{1/\eta_{equi} + Q_{pil}/Q_{agua}^{(norm)}}, \quad (8)$$

O también:

$$\eta_{glob} = \eta_{equi} \cdot \frac{1}{1 + \eta_{equi} \cdot Q_{pil} / Q_{agua}^{(norm)}} \quad (9)$$

Esta expresión relaciona las eficiencias efectiva o global (η_{glob}) con la eficiencia del equipo o quemador (η_{equi}) que se mide tradicionalmente. En la Ec. (8) Q_{pil} es el consumo diario del piloto expresado en las mismas unidades que $Q_{agua}^{(norm)}$. Esta cantidad es la energía necesaria para calentar la masa de agua: $m_{agua} = 400$ kg en un salto térmico $\Delta T_0 = 22K$.

Uno de los objetivos de este trabajo es validar la relación entre las eficiencias indicadas por las expresiones (3) y (9), ya que esto permitiría utilizar las técnicas y procedimientos de determinación de eficiencia vigentes actualmente, expresado por la Ec.(2), junto al consumo diario del piloto, para determinar la eficiencia global. Durante un ensayo real, siguiendo el protocolo indicado en la Fig. 2, el valor de la temperatura de salida (T_s) del calefón, no es necesariamente la temperatura de confort, $T_c = 42^\circ C$. El calor necesario para calentar la masa real de agua ($M_{agua}(dia)$) será: $Q_{agua}^{(dia)} = M_{agua}(dia) \cdot c_{agua} \cdot (T_s - T_e)$ por lo tanto lo que se debe comparar es el valor obtenido con la Ec.(3):

$$\eta_g = \frac{Q_{agua}^{(dia)}(kcal)}{Q_{gas}^{(dia)}(kcal)} \quad (10)$$

con la expresión:

$$\eta_g = \eta_{equi} \cdot \frac{1}{1 + \eta_{equi} \cdot Q_{pil} / Q_{agua}^{(dia)}} \quad (11)$$

Si los valores medidos de η_g usando la Ec.(10) y el estimado usando la Ec.(11) son iguales, esto daría soporte a la equivalencia entre los dos modos de calcular η_{glob} , Ec.(3) y Ec.(9).

Para determinar el consumo del piloto, se conectó un calefón típico del mercado a un caudalímetro de gas con sólo en piloto encendido y se registró el consumo como función del tiempo. Los resultados se ilustran en la Fig. 4.

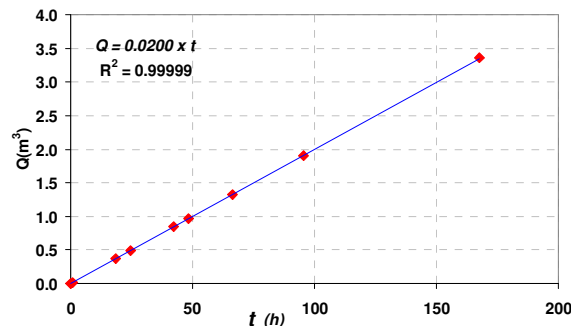


Figura 4. Consumo de gas de un piloto típico, $Q = 0.48$ m³/día \approx 216 W.

Los consumos obtenidos son consistentes con un valor de $0,5 \text{ m}^3/\text{día}$ de gas natural por piloto o bien de unos 216 W.

La equivalencia entra las expresiones (10) y (11) fue corroborada experimentalmente: se condujo un ensayo siguiendo el protocolo de consumo propuesto (fig. 2) y se comparó la eficiencia calculada con la fórmula y la eficiencia resultante de considerar el calor entregado al agua y el gas usado en la combustión durante el ensayo. El valor de la eficiencia global, medido directamente según la Ec.(10) coincide dentro de un error menor al 1% con el estimado usando la Ec.(11).

Por lo tanto, es posible determinar la eficiencia global de un calefón, Ec.(3), determinando la eficiencia de calefón en el modo tradicional, η_{equi} Ec.(2) y midiendo el consumo diario del piloto, Q_{pil} , como se ilustra en la Fig. 4.

Calefones con encendido electrónico

Uno de los ensayos realizados consistió en conectar dos calefones nuevos y similares, producidos por un mismo fabricante nacional, ambos disponibles en el mercado local. Unos con piloto y otro con encendido electrónico (sin piloto) de 14 litros/min cada uno. Ambos fueron sometidos a un ensayo siguiendo el protocolo indicado en la Fig.3, pero con un desfase en tiempo de 15 minutos. Este procedimiento permite usar el mismo sistema de adquisición de datos para registrar los consumos y el resto de los parámetros del ensayo. Además, este proceder pone en pie de igualdad las demás características de ensayo para ambos equipos. En estas condiciones, se midió el consumo global de ambos equipos. Los resultados arrojaron que el ahorro en consumo base de gas por eliminación del piloto del calefón es 24%.

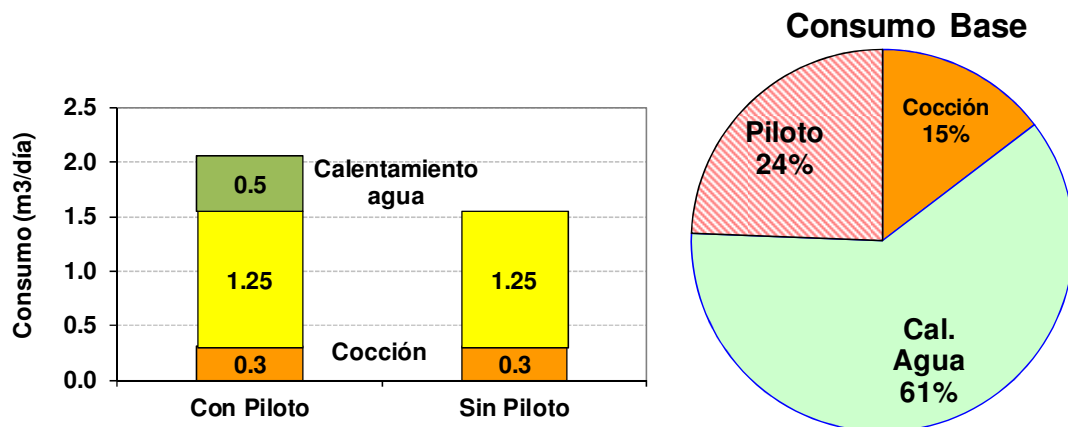


Figura 5. Distribución del consumo base, usando el protocolo propuesto. El ahorro en el consumo base de gas, por eliminación del piloto en el calentamiento de agua, es del 24%.

Los artefactos convencionales de calentamiento de agua, calefón o termotanque, como así también los calefactores a gas, tienen una llama piloto que los mantiene encendidos todo el tiempo. Estos pilotos tienen un consumo medio de 0,5 m³/día. Dado que en la Argentina hay aproximadamente 7 millones de usuarios residenciales, y cada uno de ellos tiene al menos un artefacto con piloto, resulta que el consumo de todos los pilotos es de al menos unos 3,5 millones de m³/día. Este volumen es comparable al gas que la Argentina importa, por lo tanto es razonable pensar en un plan de recambio de artefactos de calentamiento de agua con equipos de encendido electrónico. Asimismo, sería muy interesante el considerar la inclusión de encendido electrónico en los equipos de calefacción a gas. Los valores eficiencia así medidos, debería estar disponible a los usuarios, a través del etiquetado energético de los artefactos a gas.

Conclusiones

Las estimaciones y mediciones realizadas hasta el presente, indican que los consumos pasivos de gas, en particular de los pilotos, representan unos 0,5 m³/día por artefacto. Los pilotos en Argentina consumen al menos 3,5 millones de m³/día, estos volúmenes de gas son muy significativos y se comparan con los actuales volúmenes de gas importado. Por lo tanto, resultaría interesante analizar cuidadosamente la posibilidad de un plan de reemplazo de artefactos a gas con piloto convencional por otros de encendido electrónico de bajo consumo para el caso de **calefones** o aprovechar su energía en el caso de termotanques.

Asimismo, se debe estimular modos de mejorar su eficiencia en general. En este sentido la adopción de un esquema de **etiquetado de eficiencia** de artefactos a gas puede ser una herramienta útil. La experiencia internacional indica que el sistema de etiquetado es muy efectivo para lograr un uso más eficiente y racional de la energía. El desarrollo de un esquema de determinación de la eficiencia de los equipos a gas, que incluye los consumos pasivos, creemos que es un aporte valioso para lograr un sistema de etiquetado que refleje los consumos reales y estimule a un uso más eficiente de la energía.

Agradecimientos: Agradecemos al Ing. Carlos Ricci y a la empresa Elster AMCO de Sudamerica S.A. por facilitarnos los medidores de gas usados en este ensayo, como así también a la Empresa Orbis por proporcionarnos algunos de los calefones usados en estos ensayos. También agradecemos las sugerencias realizadas los Ing. O. Maronna, E. Filloy y P. Friederich. Este trabajo se realizó dentro del marco de un convenio de investigación y desarrollo entre el INTI y ENARGAS.

Las opiniones y los puntos de vista vertidos en este trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vistas de las instituciones patrocinantes.



Figura 6. Sala de ensayo de los Calefones en los laboratorios de INTI Energía.

Referencias

¹ *Modelo de Predicción de Consumo de gas natural en la República Argentina.* S.Gil et al. Petrotécnica (Revista del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas) XL, N03, Sup. Tecn. 1,1 - Junio(1999).

² *Modelo generalizado de predicción de consumos de gas natural a mediano y corto plazo I* - S.Gil, et al. Gas & Gas - Pub. para la Industria Gasífera - Año IV- N° 48, 24-30(2002) y IV- N° 49, (2002)

³ *Generalized model of prediction of natural gas consumption,* S.Gil et al. Journal of Energy Resources Technology Journals of The American Association of Mechanical Engineers.(ASME International), Jun. 2004.

⁴ *Caracterización de los inviernos según su impacto en el consumo de gas natural-* S.Gil, L. Pomerantz y R. Ruggero. Petrotécnica (Revista del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas) XLVI, N04, 98-110, septiembre (2005)

⁵ *Proyección de demanda de gas para mediano y largo plazo,* S.Gil. Petrotécnica (Revista del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas) XLVIII, N°5, (pag. 86-100) Octubre (2007).

⁶ INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos Argentina) Vivienda, hogares y hábitat, <http://www.indec.gov.ar/>

⁷ NAG- 313 Año 2009 del ENARGAS “Aparato de producción instantánea de agua caliente para usos sanitarios provistos de quemadores atmosféricos que utilizan combustibles gaseosos”– www.enargas.gov.ar