



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revencyt
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



REVISTA TÉCNICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Hacia los 130 años de creación de la Universidad del Zulia

"Buscar la verdad y afianzar los valores trascendentales", misión de las universidades en su artículo primero, inspirado en los principios humanísticos. Ley de Universidades 8 de septiembre de 1970.

Household Energy Efficiency: the Electrical Water-Tank Heater

Luis E. Juanicó¹ , I. Bove² 

¹Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales, Argentina.

²Laboratorio de Energía Solar, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.

*Autor de Contacto: juanico@comahue-conicet.gob.ar

<https://doi.org/10.22209/rt.v43n2a01>

Recepción: 17/04/2019 | Aceptación: 31/01/2020 | Publicación: 01/05/2020

Abstract

This work introduces a thermal model and its numerical code to compute the household energy consumption related to domestic tank-style water heater. Several strategies are studied for energy saving by means of using controlling devices and new configurations by installing up to a triple-effect water heater. This way, it was achieved noticeable saving, ranging from 675 kW•h per year (for one dweller) to 2200 kW•h per year (for a six-person family). Economic savings and equipment repayment time for Argentina are studied, although the conclusions can easily be extrapolated to other countries.

Key words: sanitary hot water demand; household water heaters.

Eficiencia Energética en el Hogar: el Calentador Eléctrico con Tanque de Agua

Resumen

Este trabajo presenta un modelo térmico y su código numérico para calcular el consumo energético de calentadores eléctricos con tanque de agua para uso en el hogar. Se estudian varias estrategias de ahorro mediante dispositivos de control y nuevas configuraciones que implican la instalación de hasta tres calentadores. Se obtuvieron ahorros significativos de energía, tanto para un único usuario (675 kW•h/año), como para una familia de seis personas (2200 kW•h/año). Se estudian ahorros económicos y tiempo de repago de equipos para Argentina, aunque las conclusiones pueden fácilmente extrapolarse a otros países.

Palabras clave: demanda de agua caliente; calentadores de agua para el hogar.

Introducción

Un calentador eléctrico con tanque (“calentador” en adelante) calienta agua para consumo doméstico con una resistencia eléctrica (generalmente de 1500 W) y la almacena en un tanque térmicamente aislado. A diferencia de los calentadores a gas, en los cuales su norma de etiquetado energético considera la eficiencia del quemador, en los calentadores eléctricos se considera sólo la calidad del aislamiento térmico del tanque, siendo que toda resistencia eléctrica alcanza 100% de eficiencia de conversión de energía eléctrica a térmica. Sin embargo, su potencial de ahorro es considerable, ya que la demanda de agua caliente de uso sanitario para la mayoría de los hogares argentinos (de clima templado) representa el 40% del consumo total de energía del hogar, llegando al 75% en hogares de bajos recursos (sin climatización) [1, 2, 3]. En hogares sin red de gas natural es recomendable utilizar electricidad, ya que el precio del gas envasado es notablemente mayor. Para realizar esta comparación, recuérdese que 1 m³ de gas natural (ó 1 kg de gas envasado) contiene aproximadamente la misma capacidad energética (calor de combustión) que 10 kW·h eléctricos, pero a diferencia de los eléctricos en un equipo a gas la eficiencia del quemador ronda el 65%. Siendo el costo en Buenos Aires de la electricidad hogareña de 3 \$/kW·h y de 50 \$/Kg para el gas envasado (al 1/4/19), surge que el costo de calentar agua con gas envasado sería más del doble que con electricidad. Otros factores también favorecen la opción eléctrica: 1) costos asociados a un sistema de gas (revisión anual por gasista matriculado, mantenimiento de conductos de ventilación, compra de alarma de gas y monóxido de carbono); 2) gasto continuo de energía del piloto del quemador; 3) riesgo de incendio y/o emanaciones tóxicas [4]. Estos factores son igualmente válidos para hogares con gas natural, pero el bajísimo costo que tradicionalmente ha tenido este combustible en Argentina (4 \$/m³ al 1/4/19, ¡pero diez veces menos sólo tres años atrás!) ha motivado su elección mayoritariamente. Es importante aclarar que existen equipos eléctricos de mayor eficiencia para calentar agua sanitaria como son las bombas de calor, donde se pueden obtener COP (siglas de Coefficient Of Performance) de 3, reduciendo el consumo eléctrico a la tercera parte respecto a un calentador tradicional [5], pero su elevado período de amortización para un uso familiar no los vuelve atractivos.

No obstante lo anterior, se debe señalar que hay una fuerte tradición en la Argentina que favorece la elección de equipos de gas envasado por parte de los usuarios de bajos recursos, empleando calentadores a gas con o sin tanque (estos últimos, llamados calefones en algunos países de habla hispana). En esta elección no se pondera el riesgo asociado, sobre todo en el caso del calentador sin tanque, el cual por contar con grandes quemadores (30.000 kcal/hora o 35 kW) en ambientes mal ventilados causan emanación de monóxido de carbono (veneno). Las causas de porqué no se percibe este riesgo exceden este trabajo, pero se puede señalar que los fabricantes venden los mismos equipos a gas (natural o envasado), y estos

últimos son aceptados por los usuarios de bajos recursos como una forma (inconsciente) de “emular” los hogares de mayores recursos, a pesar de que su elección no sea económicamente redituable ni mucho menos segura.

Dado este contexto socioeconómico, y siendo como será demostrado muy importante la potencialidad de ahorro energético que permite un calentador eléctrico, en este trabajo se desarrollará el cálculo de su rendimiento energético. Se estudiarán diferentes configuraciones de uso y cuantificarán diferentes estrategias de ahorro.

Metodología

Modelo térmico del calentador eléctrico con tanque

Ahorro vía regulación del termostato a temperatura mínima y “anticipación” del consumo

En primer lugar, debe notarse que el tanque de un calentador a máxima temperatura (75 °C) pierde 5,5 veces más calor que otro regulado al mínimo (30 °C) en un ambiente a 20 °C, siendo que el salto térmico involucrado será 5,5 veces mayor en el primero, y que las pérdidas de calor son proporcionales a dicho salto. Esta comparación se traduce en que el primer equipo necesitará encender su resistencia eléctrica para mantener la temperatura con una frecuencia 5,5 veces mayor, dando un mayor consumo eléctrico, el cual será definido como consumo stand-by. Es importante aclarar que este consumo stand-by es independiente del consumo directo asociado a la demanda de agua caliente que constituye la finalidad del calentador. Sin embargo, se debe reconocer que el usuario promedio será reticente a adoptar esta sugerencia (termostato a 30 °C), ya que debería esperar un tiempo de precalentamiento antes de cada uso. Por ejemplo, un baño confortable requiere en promedio 50 l a una temperatura de 42 °C, y para lavar vajilla habrá que subir la temperatura hasta los 50 °C [6]. Se estudiarán estrategias que reduzcan esta incomodidad, pero que nos permitan minimizar el consumo stand-by.

Tiempo de precalentamiento

El tiempo de precalentamiento es directamente proporcional a tres variables: 1) la capacidad del tanque del calentador, expresada en kilogramos de agua (M_{tanque}); 2) su potencia calefactora (P_{cal}); 3) el salto térmico a calentar (DT_{cal} , siendo por ejemplo de 12 °C para calentar de 30 °C a 42 °C). La ecuación 1 calcula este tiempo de precalentamiento, donde C_{agua} (4,16 kJ/kg·°C) es el calor específico del agua. Como ejemplo, un calentador de 1500 W de 50 l (50 kg) requerirá un precalentamiento de 30 min para calentar 13 °C, y de aquí se puede calcular por regla de tres otros casos de interés. Por ejemplo, si se duplica la capacidad (100 kg) y el salto térmico (26 °C), el tiempo de precalentamiento se cuadruplicará, siendo de 2 horas. Este lapso puede ser demasiado para el usuario promedio y le impulsará a dejar el termostato a la mayor temperatura posible.

$$Dt_{\text{precal.}} = C_{\text{agua}} \cdot M_{\text{tanque}} \cdot DT_{\text{cal.}} / P_{\text{cal.}} \quad (1)$$

Seguendo con este ejemplo, un calentador del doble de potencia (3000 W) tardaría la mitad en el precalentamiento. Es interesante notar que la potencia de calentamiento del calentador no guarda relación con su consumo energético. Cabe preguntarse por qué entonces la mayoría de los modelos vienen provistos de una resistencia de 1500 W, siendo que a mayor potencia menor tiempo de precalentamiento. La respuesta se encuentra en que el fabricante desea que su equipo pueda ser instalado en la mayoría de los hogares, muchos de los cuales cuentan con cables eléctricos viejos de pequeña sección ($D = 2,5$ mm), mientras que para instalar un equipo de mayor potencia se requeriría una instalación reforzada ($D = 4$ mm). Además, la potencia eléctrica máxima en un hogar se contrata con la compañía distribuidora y que su coste aumenta conforme aumenta ésta, por lo cual contratar un plan de mayor potencia conllevará un encarecimiento del consumo global. Sumado a ello, si los calentadores tuvieran más potencia, como gran parte de la población se baña a la misma hora (mañana o noche), la red eléctrica sufriría un indeseable pico de consumo. Por todo esto, se descartará el aumento de la potencia del calentador, y se considerará sólo las dos restantes variables: la capacidad del calentador y la regulación del termostato.

Capacidad del calentador

Esta es una variable útil, siendo que un calentador pequeño reducirá el tiempo de precalentamiento y las pérdidas de calor por su menor área superficial, pero posee poca capacidad para satisfacer una gran demanda de agua caliente. Por este motivo, es frecuente que el usuario opte por la solución simple de dejar siempre el termostato al máximo (75 °C) para "estirar" la capacidad del tanque, mientras que fijándolo en 42 °C necesitará un tanque de 50 l para disponer de un único baño comfortable.

Potencia y energía como consumo *stand-by*

Como regla general se suelen utilizar aislamientos térmicos de 5 cm de fibra de vidrio en calentadores viejos o de poliuretano inyectado en nuevos, que proporcionan un coeficiente global de transferencia de calor (U) de 0,8 y de 0,6 W/m²°C, respectivamente. Multiplicando este coeficiente por el salto de temperaturas entre el tanque (T_{tanque}) y el ambiente ($T_{\text{amb.}}$), y por su superficie, A_{tanque} , se calcula la potencia térmica como consumo de *stand-by* ($P_{\text{stand-by}}$):

$$P_{\text{stand-by}} = U \cdot A_{\text{tanque}} (T_{\text{tanque}} - T_{\text{amb.}}) \quad (2)$$

Si por ejemplo se mantiene a 70 °C un tanque viejo de 120 l (altura 1 m y diámetro 0,4 m, superficie 1,5 m²) en un ambiente a 20 °C, la potencia de consumo *stand-by* calculada es de 60 W. Puede parecer modesto, pero sostenido a lo largo del día representa un consumo

energético (ec. 3) de 1,44 kW·h/día. Si en cambio fijáramos el termostato en 30 °C, el salto térmico involucrado sería de 10 °C y las pérdidas de 0,288 kW·h/día. Con la tarifa eléctrica residencial actual en Buenos Aires (3 \$/kW·h), estas pérdidas representan \$ 1577 y \$ 315 anuales respectivamente, de donde se calcula un ahorro anual de \$ 1262 simplemente por fijar el termostato al mínimo y anticipar el consumo, subiendo la temperatura una hora antes de cada baño (ya que es un tanque de 120 litros, necesita algo más del doble de tiempo que uno de 50 l).

Para completar este punto, debe recordarse que la energía perdida ($E_{\text{stand-by}}$) durante un cierto lapso (Dt) por una potencia dada ($P_{\text{stand-by}}$) se calcula multiplicando ambos factores:

$$E_{\text{stand-by}} = P_{\text{stand-by}} \cdot Dt \quad (3)$$

Energía de consumo directo

En la (ec. 4) se calcula el consumo directo de energía necesario para disponer de un baño comfortable (50 l a 42 °C [3]). Para lograr esta temperatura ($T_{\text{baño}}$), se deberá calentar el agua desde la temperatura de la red domiciliaria (T_{red}) con la que ingresa al hogar. Ello define el salto de temperatura $DT_{\text{agua}} = T_{\text{baño}} - T_{\text{red}}$, el cual multiplicado por el calor específico del agua (C_{agua}) y la masa de agua consumida en un baño (M_{agua}), da la energía del consumo directo (E_{consumo}):

$$E_{\text{consumo}} = C_{\text{agua}} \cdot M_{\text{agua}} \cdot (T_{\text{baño}} - T_{\text{red}}) \quad (4)$$

Por ejemplo, si la temperatura de ingreso de red es 18 °C (promedio anual de Buenos Aires) la energía consumida sería de 1,39 kW·h.

Utilización del sobrecalentamiento para disminuir el consumo

La ventaja de fijar una elevada temperatura es el solventar una mayor demanda continua de agua caliente. Ejemplificando con un tanque de 50 l a 42 °C, éste podrá proveer un baño comfortable, pero si se demanda inmediatamente un segundo baño se deberá esperar una hora. Si en cambio este proceso iniciara con el calentador a 75 °C, la mezcla de caudales (frío y caliente) en la ducha reduciría el volumen de agua caliente consumida. La ecuación 5 plantea el balance de energía que permite calcular "la masa de agua equivalentes a 42 °C" (M_{eq}), partiendo de un termostato a una cierta temperatura ($T_{\text{termos.}}$). Luego, dividiendo esta masa equivalente por la capacidad del calentador (M_{tanque}) se obtiene el número de baños consecutivos posibles. Se debe notar que en este cálculo no se contabiliza el efecto de mezclado dentro del calentador por ser mínimo en lapsos cortos.

$$M_{\text{eq}} = M_{\text{agua}} \cdot (T_{\text{baño}} - T_{\text{red}}) / (T_{\text{termos.}} - T_{\text{red}}) \quad (5)$$

$$N^{\circ} \text{ baños} = M_{\text{tanque}} / M_{\text{eq.}} \quad (6)$$

Finalmente, se define la eficiencia global del calentador como el cociente entre la energía utilizada (consumo) y la energía eléctrica consumida (7) anuales. Como fue discutido, esta eficiencia global dependerá de varios factores que serán estudiados a continuación (además del consumo *stand-by* ya estudiado), persiguiendo el maximizar la misma.

$$\text{Eficiencia global anual} = E_{\text{consumo}} / E_{\text{eléctrica}} \quad (7)$$

Resultados y Discusión

Con los modelos antes desarrollados, se calculó a continuación la eficiencia global del calentador y su consumo anual en función de los siguientes parámetros:

- 1) Número de personas (pax);
- 2) Temperatura termostato (de 20 °C a 75 °C; siendo 20 °C un calentador desconectado);
- 3) Capacidad (en volumen: l, o en masa: kg) del calentador.

Se considerarán las siguientes hipótesis de trabajo:

1) $T_{\text{amb}} = 20$ °C constante todo el año (interior hogar); en equipos exteriores debería considerarse por ejemplo la temperatura promedio mensual ambiental a lo largo del año.

2) Consumo standard: un baño (50 l a 42 °C) y lavado de platos (5 l a 50 °C) por día y por persona.

3) $T_{\text{red}} = 18$ °C constante; este criterio es válido para tubería enterrada o grandes tanques, pero en tanques pequeños exteriores debería nuevamente considerarse el valor promedio estacional.

4) Se considerarán tanques cilíndricos de 0,4 m diámetro y altura variable, pero para tanques pequeños se recalculará el diámetro de modo que éste sea igual a la altura (cilindro de sección meridional cuadrada).

5) Aislamiento de calentador "antiguo" $U = 0,8$ W/m²·°C, y "nuevo" $U = 0,6$ W/m²·°C.

También se calculará el tiempo de precalentamiento. Se programa en una hoja de cálculo (LibreOffice -software libre- o Excel -software propietario-) este modelo para comodidad del lector, quien podría simular otros casos de interés.

Configuración I: Una persona y un gran calentador de 150 l

Esta configuración podría considerarse "extrema" ya que maximiza el consumo *stand-by* y

minimiza la eficiencia global del calentador debido al bajo consumo directo, pero plantea algunas estrategias interesantes, ya que este usuario solitario tiene la oportunidad de anticiparse a todos los consumos y obtener así importantes ahorros. Se observa en los resultados (Tabla 1) que la estrategia de mantener el calentador a 75 °C conduce a una muy pobre eficiencia global (46%) y a malgastar 675 kW·h anuales (\$ 2025 con tarifa 3 \$/kW·h) por consumo *stand-by*. Una solución "racional" (termostato a 42 °C) mejoraría la eficiencia global (68%) y el consumo *stand-by* (\$ 810). Siguiendo esta tendencia, se recomienda mantener apagado el calentador durante períodos sin consumo (sueño o en trabajo) para minimizar el consumo *stand-by*. Si bien esto requeriría un gran período de precalentamiento (153 min), este usuario podría anticiparlo mediante algunos recursos:

1) Encender el calentador 2½ horas antes de bañarse (ej.: al volver del trabajo).

2) Si el usuario prefiere un baño matinal, puede utilizar un temporizador para programar el encendido; su modesto costo (\$ 150) se amortizaría en sólo un mes de uso.

3) Una solución más sofisticada puede ser utilizar un "switch digital de enlace wifi" (\$ 500) para encender remotamente el calentador; su inversión se amortiza en cuatro meses.

Nótese que una persona promedio gasta 50 l de agua caliente por día, y por ende este usuario estaría calentando (y manteniendo caliente) 100 l más de los necesarios. Por ello, otra solución interesante es el sustituir este gran calentador por uno pequeño. Suponiendo que el usuario no es afecto a "predecir" su consumo y por eso descarta todas las estrategias anteriores, pero en cambio está dispuesto a cambiar su enorme calentador. Es claro que cuanto más pequeño sea éste, menores serán las pérdidas como consumo *stand-by*, pero también es cierto que un calentador muy pequeño debería permanecer sobrecalentado para estirar el consumo y satisfacer la demanda de un buen baño (ver Tabla 2), lo cual puede contrabalancear su ventaja inicial. Considérense entonces dos casos: A) calentador de 50 l con termostato a 50 °C, que satisface instantáneamente cualquier tipo de consumo; B) calentador de 25 l con termostato a 70 °C, para obtener similares prestaciones. Obsérvese con el programa de cálculo desarrollado que el calentador de 50 l pierde por año \$ 474, mientras que el de 25 l pierde \$ 520; la diferencia entre ambos es muy pequeña y es posible que la diferencia de precios (\$ 5000 y \$ 4000) incline la elección a favor del más pequeño. Por último, nótese que en ambos casos la sustitución permitió un importante ahorro, y su costo se amortizaría en 3 ó 4 años.

Tabla 1. Calentador 150 l según termostato (1 pax).

Termostato (°C)	Estand-by anual (kW·h / \$)	Tiempo precal. (min)	Eficiencia global
20	---	153	100%
30	123 / \$ 368	83	82%
42	270 / \$ 810	---	68%
50	368 / \$ 1105	---	61%
75	675 / \$ 2025	---	46%

Tabla 2. Tiempo de precalentamiento (con calentador apagado).

Volumen (l)	Tiempo precal. (min)
25	51
50	51
80	82
100	102
150	153

Configuración II: Familia de cuatro integrantes y un único calentador

Ahora será estudiada la capacidad del calentador a adquirir, sabiendo que uno muy grande sufre grandes pérdidas y uno pequeño no permitirá el baño consecutivo de todos los (cuatro) usuarios. Además, y a diferencia del caso anterior, se deberá aquí considerar que es necesario disponer de agua caliente durante todo el día para otros usos (50 °C). Realizando un estudio de sensibilidad en cuanto a la capacidad del termotanque con nuestro programa, permite estimar que uno de 80 litros puede brindar una solución óptima, porque con su termostato regulado a 50 °C su consumo *stand-by* cuesta \$ 663 al año y permite disponer siempre de 2,1 baños consecutivos, los cuales se pueden estiran hasta 3,8 partiendo del punto máximo (75 °C), pero que superan holgadamente los cuatro si se suma el tiempo de este mismo proceso, durante el cual la resistencia aportaría un baño extra cada 55 min. Para calcular este tiempo de precalentamiento con nuestro programa se debe recurrir a una pequeña "trampa", simulando un calentador de 50 l (baño) en un tanque que comience a 18 °C (fijando el termostato a 18 °C). Es necesario aquí hacer una aclaración importante: como fue antes señalado, la temperatura del agua de red puede tener variaciones estacionales importantes, y por ende el tiempo de calentamiento aumentará sensiblemente en invierno, disminuyendo en verano. En este trabajo será considerada la temperatura de la red constante, pero debería considerarse dicha variación

estacional en un estudio más detallado. Por último, nótese que esta solución es de alta eficiencia global (91%), muy superior al caso anterior, debido a que aquí satisface una mayor demanda útil y entonces las pérdidas como consumo *stand-by* tienen un menor peso relativo.

Configuración III: Familia de seis personas y varios calentadores

Como corolario de todo el análisis anterior, será considerada una gran familia (6 personas). La solución "tradicional" consistiría en disponer un gran y único calentador (150 l) a 75 °C para disponer siempre de 7,1 baños consecutivos. Si bien su consumo *stand-by* fue ya calculado en la primera configuración (\$ 2025), la eficiencia global aquí se ve fuertemente incrementada (85%) por el uso intensivo del equipo. Lo que nos interesa ahora es explorar la posibilidad de construir una nueva configuración "inteligente" que brinde mayor comodidad y reduzca costos. Considerando que una gran vivienda posee al menos dos baños, sería conveniente contar con dos calentadores (uno en cada baño) para proveer dos baños simultáneos. También, será considerado instalar un muy pequeño (20 l) tercer calentador en la cocina. Este tipo de equipos (que se ubican bajo la mesada de la cocina) son casi desconocidos en Argentina, pero son habituales por ejemplo en Uruguay. La ventaja de este equipo muy compacto es que se calienta rápidamente y permite disponer todo el día de agua caliente para lavar la vajilla (50 °C) con un muy pequeño consumo *stand-by* (\$ 257). Otras ventajas que brinda son el no "quitar agua caliente" mientras un integrante se está bañando (¡incómodo efecto!) y el de anular las pérdidas por "flujo parásito en cañerías". Considérese una gran casa con un único calentador, pero que dispone de dos baños y una cocina igualmente alejados del calentador por 19 m de cañería de ¾"; cada uno representa un volumen de 5 l que se debe llenar de agua caliente antes de que ésta salga por cada grifo. Estos 5 l de agua caliente se "pierden" cada vez que cierro el grifo si no la vuelvo a utilizar rápidamente (la cañería sin aislamiento pierde 5 °C en 20 minutos). En el caso de un baño promedio (50 l) puede significar una pérdida menor, pero este "flujo parásito" puede significar un gran consumo en grifos de uso esporádico como los lavamanos. Cabe comentar que antiguamente, cuando los lavamanos contaban con dos canillas (caliente/fría), el usuario solía abrir únicamente la de agua fría para un uso breve, pero desde que se generalizaron los grifos monocomando se suele fijar éste en un punto intermedio, con lo cual se demanda agua caliente del calentador sin que muchas veces ésta se llegue a utilizar efectivamente. Es pues recomendable disponer un calentador en cada baño y cocina para minimizar los "flujos parásitos". Si se estima 5 usos parásitos por persona a diario estaríamos perdiendo 150 l a 50 °C, equivalentes a \$ 6704/año. Entonces, sobre la base de esta configuración (2 baños), estudiaremos diferentes propuestas (siempre sumando el pequeño termotanque en la cocina).

A) Dos calentadores de 50 l a 42 °C. Consumo *stand-by*: $2 \times \$ 348 = \$ 695$. Se dispone así siempre de dos baños simultáneos, y el tiempo de precalentamiento será menor también (contando con dos resistencias 1500 W), siendo de 55 min cada dos nuevos baños. Otra ventaja es que se dispone de 4,8 baños si se comienza con ambos tanques a 75 °C, con lo cual se estaría satisfaciendo la demanda máxima (tomando en cuenta el tiempo entre baños).

B) Un calentador de 50 l a 42 °C, y otro de 90 l apagado. El consumo *stand-by* será la mitad del anterior (ahorro \$ 348) pero se dispondría de un único baño siempre listo. La idea en este caso es poder programar el consumo del “gran baño familiar”, ya que con ambos calentadores a 75 °C se obtienen $4,3 + 2,4 = 6,7$ baños consecutivos. Se puede también mantener ambos calentadores a 42 °C para recuperar la condición anterior (disponer siempre dos baños) con un consumo *stand-by* de \$ 881 (\$ 186 más que en el caso A).

¿Se debe cambiar el viejo termotanque?

Se han realizado todos los cálculos considerando un viejo calentador, cuya calidad de aislamiento se caracteriza por $U = 0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$, mientras que si fuese cambiado por uno de mejor aislamiento ($U = 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$) cabe esperar un menor consumo *stand-by*. Aquí se observa (ec. 2) que la pérdida como consumo *stand-by* es proporcional a la calidad del aislamiento (U), por lo cual la reducción obtenible por este recambio será sólo del 25%. Por otra parte, recordando que el consumo directo permanecerá igual (toda resistencia tiene 100% de eficiencia de conversión de energía eléctrica a térmica), podemos ahora estimar si esta inversión es justificable, o visto de otra manera, si no sería conveniente recurrir a otro tipo de solución en donde la inversión se amortizase más rápidamente. Por ejemplo, una familia numerosa con un calentador viejo de 150 l a 75 °C sufre un consumo *stand-by* de 2025 \$/año, el cual es posible reducir a 1519 \$/año con un moderno equipo, obteniendo un ahorro de \$ 506 con una inversión (\$ 15000) que se amortiza recién luego de 30 años. En cambio, y como corolario de todo lo analizado en este trabajo, se pueden ahora evaluar otras opciones más inteligentes:

- 1) Mantener este gran calentador a 50 °C.
- 2) Instalar un calentador compacto de 20 l para la cocina (\$ 3500) a 50 °C y mantener el gran calentador a 42 °C.
- 3) Instalar un calentador compacto en la cocina a 50 °C y otro de 50 l a 42 °C en el segundo baño, al igual que el gran calentador a 42 °C.
- 4) Ídem anterior, pero manteniendo apagado el gran calentador y programando su encendido con un reloj programable (\$ 150) para el gran baño familiar diario.

Se analizarán en detalle todas estas opciones:

Opción 1. No requiere inversión y por su menor consumo *stand-by* (\$ 1105) ahorra 920 \$/año a costa de disponer siempre de 4 baños consecutivos en vez de 7,1, es decir que la única molestia es la necesidad de anticipar el momento de un “gran baño familiar”.

Opción 2. Se logra eliminar el consumo parásito de la cocina, que fue estimado (ver análisis anterior) en 3500 \$/año, con lo cual se amortiza su inversión en un año. Pero también, al habilitar la posibilidad de que el gran calentador reduzca su termostato a 42 °C (disponiendo siempre de 3 baños consecutivos) reduce el consumo *stand-by* a \$ 810, ahorrando 295 \$/año.

Opción 3. (mejor) La ventaja de contar con los tres calentadores es obtener todo el ahorro esperable por flujo parásito (6704 \$/año). Se obtiene siempre (al contar con ambos calentadores) la posibilidad de obtener un gran baño familiar, a costa del consumo *stand-by* del nuevo calentador (348 \$/año). El ahorro anual es de \$ 6356 mientras que la mayor inversión requerida (\$ 3500 + \$ 5500 = \$ 9000) se amortiza en sólo año y medio.

Opción 4. Se obtiene un ahorro por flujo parásito menor que en el caso anterior (que puede ser estimado en \$ 5500) pero en cambio se anula el consumo *stand-by* anterior del gran calentador (810 \$/año). Aquí se observa que el ahorro total (y la inversión) es similar al del caso anterior, pero con la gran desventaja de disponer siempre de un único baño.

Conclusiones

Se estudiaron distintas configuraciones de uso (según capacidad y temperatura del calentador y número de usuarios), y en todos los casos es posible establecer estrategias para ahorrar energía. Las moderadas inversiones propuestas se amortizan en pocos meses, siendo entonces asequibles. Las ventajas obtenidas no se limitan al ahorro energético y monetario, sino que además permiten sumar otros aspectos, como el confort térmico y la apropiación de la tecnología por parte del usuario a partir del mayor conocimiento térmico del calentador. Es esperable que este conocimiento práctico y/o aplicado junto con la herramienta sencilla de cálculo desarrollada, ayudarán al usuario promedio a seguir alguna de estas estrategias sugeridas. Se ha demostrado que las posibilidades potenciales van más allá del simple recambio de un viejo calentador, empleando creatividad y conocimiento.

El programa de cálculo presentado permite además que el lector pueda simular otros casos de interés, como ser climas fríos (agua de red a 5 °C en invierno, diferentes tarifas eléctricas provinciales, etc.), que por cuestiones de espacio no fueron aquí desarrolladas, pero que (a la luz de este análisis) es esperable que arrojen resultados igualmente interesantes.

El modelo térmico desarrollado podría ser

también fácilmente aplicado al cálculo de calentadores a gas (natural o envasado) considerando además la eficiencia de conversión de energía química a térmica del quemador de gas (en general del 65% en artefactos de quemador simple, como los considerados en [7]). Como fue discutido en la introducción, el usuario argentino ha escogido tradicionalmente calentadores a gas hogareños por el bajísimo costo histórico del gas natural, el cual (aunque aumentado fuertemente en los últimos tres años) se mantiene en valores relativamente bajo. Sin embargo, este modelo (válido para usuarios con red de gas natural) no es válido para los usuarios sin red de gas, quienes generalmente constituyen los hogares más pobres y que recurren en cambio al uso del gas envasado (garrafas o bombonas) para calentar agua. Siendo el costo actual del gas envasado en Buenos Aires el doble de su equivalente energético en electricidad, ni siquiera desde el punto de vista económico se justifica esta elección (tradicional) a favor del gas envasado. Por otra parte, el uso de este tipo de combustible conlleva implicaciones muy fuertes en cuanto a los riesgos potenciales que implican hacia la vida de los usuarios y sus viviendas, que no se presentan en el caso de utilizar equipos eléctricos. Por último, debe ser notado que algunas de las estrategias aquí estudiadas (particularmente, el uso de un "timer") no son aplicables (al menos en forma directa) a los equipos de gas.

beyond technology selection to enhance energy efficiency and level of service. *Energy and Buildings*, 82 (2014) 222–236.

- [7] Juanicó, L.E., González, A.D. Thermal efficiency of natural gas balanced-flue space heaters: Measurements for commercial devices. *Energy and Buildings*, 40(6) (2008) 1067–1073.

Referencias Bibliográficas

- [1] González, A.D. Residential energy use in one-family households with natural gas provision in a city of the Patagonian Andean region, *Energy Policy*, 35 (2007) 2141–2150.
- [2] Rosenfeld, E. El uso de la energía en el sector residencial del Gran La Plata. Discriminación de consumos, cambios tecnológicos y opinión de los usuarios en las décadas del '80 y '90, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7 (2003) 07.25–07.30, www.asades.org.ar
- [3] Iannelli, L., Prieto, R. Eficiencia en el calentamiento de agua. Consumos pasivos en sistemas convencionales y solares híbridos. *Petrotecnica*, Agosto (2016) 86–95.
- [4] Sanders, K.T., Webber, M.E. Evaluating the energy and CO2 emissions impacts of shifts in residential water heating in the United States. *Energy*, 81 (2015) 317–327.
- [5] Keinath, C.M., Garimella, S. An energy and cost comparison of residential water heating technologies. *Energy*, 128 (2017) 626–633.
- [6] Vieira, A.S., Beal, C.D., Stewart, R.A. Residential water heaters in Brisbane, Australia: Thinking



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 43. N°2, Mayo -Agosto 2020, pp. 58 - 110 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Abril de 2020, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve

www.serbi.luz.edu.ve

www.produccioncientifica.luz.edu.ve