



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY

LES/DAT-14002: Caso de Estudio
30 de mayo de 2014

Análisis de ahorro residencial bajo Plan Solar: un caso de estudio

Ignacio Texeira
Rodrigo Alonso Suárez
Versión final

Instituto de Física - Facultad de Ingeniería
Universidad de la República
Tel.: 27110905 | CP 11300
J.H. y Reissig 565 | Montevideo, Uruguay.



**LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR**
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

**LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

Preparado por: Ing. Ignacio Texeira
Ing. Rodrigo Alonso Suárez

1. Introducción

Uruguay se encuentra en un proceso de transición en la forma de generar y utilizar energía. El país cuenta con una política energética a largo plazo donde la eficiencia energética y la diversificación de la matriz energética primaria tienen un rol fundamental. Con estos objetivos, entre otras acciones, se ha promovido fuertemente el aprovechamiento de fuentes de energía no tradicionales autóctonas y renovables, como la energía eólica, la energía solar, la biomasa, etc. A nivel país, se están instalando en distintos puntos del país molinos de generación eólica de energía eléctrica que representarán una capacidad total instalada de 1200 MW para 2016. Recientemente se ha adjudicado la construcción de 20 plantas fotovoltaicas que representarán una capacidad total instalada de 235 MW. A pequeña y mediana escala, se han tomado acciones concretas para estimular el uso de estas fuentes de energía en el sector público, residencial e industrial. En lo que respecta a la energía solar específicamente se pueden citar como ejemplo la instrumentación del Plan Solar y la aprobación de la Ley N° 18.585 donde se establece que el desarrollo, la investigación y la formación en el uso de la energía solar térmica es de interés nacional. En dicha Ley se establece que las nuevas construcciones para hoteles, clubes deportivos y hospitales sólo serán autorizadas si el 50% de su demanda de agua caliente es cubierta con aplicaciones de energía solar térmica.

El Plan Solar es un conjunto de acciones promovidas por la Dirección Nacional de Energía (MIEM/DNE) y la empresa de energía eléctrica estatal (UTE) para fomentar la incorporación de aplicaciones de energía solar para calentamiento de agua sanitaria en el sector residencial. En su instrumentación participan también la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA), el Banco Hipotecario del Uruguay (BHU) y el Banco de Seguros del Estado (BSE). El Plan otorga una bonificación mensual en la factura de consumo eléctrico de \$ 700 más IVA por 24 meses y alcanzará a las primeras 2000 instalaciones registradas. Sólo equipos con algunas características son admitidos para asegurar la calidad del equipamiento y la rentabilidad de la inversión inicial. En particular se aceptan los sistemas prefabricados indirectos y presurizados con un mínimo de 5 años de garantía brindada por el proveedor. Se puede optar por financiación del equipamiento también a 5 años a través del BHU.

En este documento se analiza la variación en el consumo eléctrico residencial de un hogar uruguayo luego de haber instalado un sistema prefabricado de calentamiento solar de agua sanitaria amparado por el Plan Solar. El ahorro en el consumo total de energía eléctrica del hogar es analizado. También se analiza el ahorro monetario estimado, con y sin bonificación del Plan Solar, y se brinda un estimativo para el retorno de la inversión inicial para este caso de estudio.

2. Características generales del estudio

El estudio se realizó en base a un hogar de familia de clase media con ocupación permanente en la ciudad de Salto, Uruguay. El período considerado es entre el 01/2011 y el 12/2013, abarcando un total de 3 años en el estudio. Se cuenta con un registro del consumo eléctrico del hogar durante este período a través de las facturas de la empresa eléctrica estatal. Un aspecto que dificulta este tipo de estudios es la alta variabilidad del perfil de consumo en el tiempo. Para este hogar en particular se tiene disponible cierta información sobre los eventos relevantes que sucedieron en el período estudiado, viabilizando el análisis debido a que se pueden aislar situaciones particulares.

El hogar contaba originalmente con dos termotanques eléctricos: uno de 20 Lt ubicado en la cocina y otro de 60 Lt ubicado en el baño. En diciembre 2012 se instaló en el hogar un sistema

compacto para calentamiento solar de agua sanitaria de 150 Lt de acumulación. El sistema compacto es de fabricación nacional y funciona por termosifón con un colector plano de 2 m². La aislación utilizada en las cañerías varía entre 19-9 mm de espesor en goma elastomérica. Luego de instalado se optó por apagar el termotanque de la cocina, derivando el agua caliente directamente desde el calentador solar. El termotanque del baño se mantuvo encendido, ingresando a él agua precalentada por el sistema solar.

Hasta julio de 2013 vivían en el hogar 3 personas: un adolescente y 2 adultos. En dicha fecha se incorporó un adulto más totalizando así 4 personas para el final del período considerado. A pesar de que el equipo fue instalado en diciembre se comenzará el análisis a partir de enero, puesto que en esta localidad diciembre resulta un mes muy particular debido a las altas temperaturas y el intensivo uso de aire acondicionado como forma de refrigeración. Además se asume un cierto período de adaptación donde el usuario realiza un uso exagerado del agua caliente por el hecho de haber instalado el sistema de calentamiento solar y luego vuelve a su rutina normal.

3. Análisis de ahorro

En esta sección se analiza el ahorro desde el punto de vista energético y monetario en términos anuales. Para el cálculo económico se utilizó la tarifa de \$ 6.11 IVA incluido por kWh consumido. Este valor se corresponde con la tarifa residencial simple para el consumo entre 101 y 600 kWh mensuales vigente desde el 1ero de enero de 2014. En esta franja es en la cual se produce la mayor parte del ahorro por instalar un sistema de calentamiento de agua por energía solar.

3.1. Análisis previo a la instalación

Previo a la instalación del sistema se realizó una estimación del ahorro mediante el software RETScreen para un consumo de 4 personas, con el conjunto de datos climáticos de Salto (incluido en el software), los valores de radiación brindados por el Mapa Solar del Uruguay v1.0, los datos del equipamiento suministrados por el fabricante y una inflación del 9%. El resultado obtenido prevé un ahorro estadístico (en términos de largo plazo) de aproximadamente 1400 kWh anuales, que equivalen a \$ 8.500 por año a la tarifa vigente. En este escenario, en base al costo del equipo y su instalación, incluyendo la bonificación del Plan Solar y considerando un costo de mantenimiento anual de \$ 500 (cambio de ánodo, revisión aislación, revisión general de funcionamiento), la previsión sobre la amortización del equipamiento se estima a los 3.5 años de funcionamiento. La evolución temporal estimada inicialmente para el beneficio de la inversión se muestra en la Fig. 1.

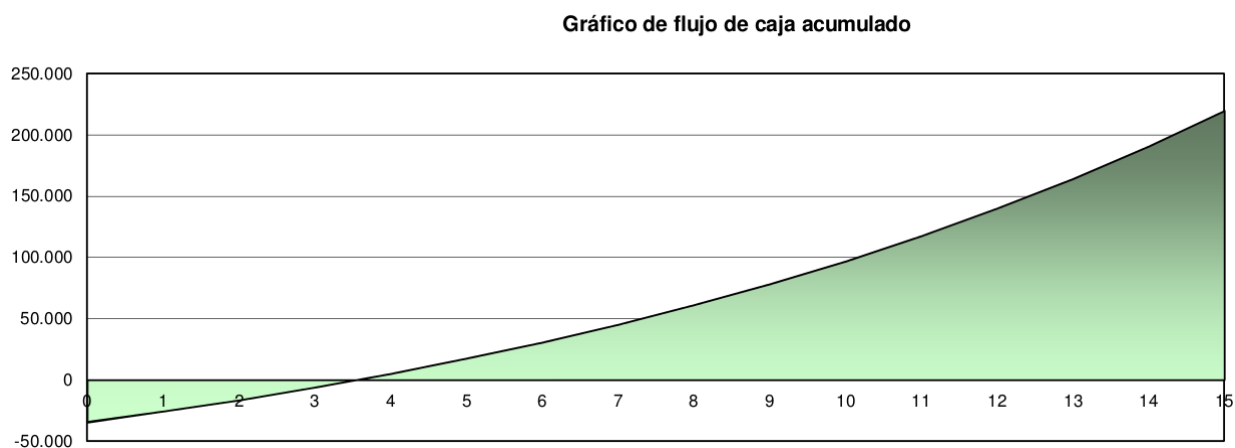


Fig. 1 – Flujo de caja acumulado estimado debido al ahorro por la utilización del calentador solar.

3.2. Datos de consumo eléctrico

Luego de la previsión inicial, interesa en particular en este estudio constatar el ahorro real obtenido en la utilización del sistema solar. Utilizando la información de consumo de dos años anteriores a la instalación del sistema y un año posterior se puede analizar el comportamiento anterior y posterior del consumo eléctrico del hogar. Carece de sentido analizar años anteriores al 2011 pues el consumo de una casa no es estático y varía en el tiempo dependiendo de la edad de sus ocupantes, sus hábitos, electrodomésticos adquiridos, etc. A modo de ejemplo en febrero de 2014 se instaló un aire acondicionado en el dormitorio de uno de los ocupantes, por lo cual a partir de este punto el perfil de consumo en invierno y verano variará, perdiendo validez un análisis futuro. Debido a esto, y a que el año 2014 no se encuentra completo, se prefirió no incluirlo en el análisis prefiriéndose utilizar 3 años de datos enteros y consistentes entre sí desde el punto de vista del consumo en funcionamiento normal.

En la Tabla 1 se muestran los datos base para este estudio. Conceptualmente, el consumo de los años 2011 y 2012 es el realizado por el hogar sin el calentador solar. Tanto en la Tabla 1 como en el gráfico de la Fig. 2 se puede notar claramente la tendencia a la baja que presenta el consumo en 2013 debido a la presencia del calentador solar para agua caliente sanitaria.

Mes / Año	2011	2012	2013
Enero	488 kWh	522 kWh	338 kWh
Febrero	505 kWh	579 kWh	368 kWh
Marzo	498 kWh	503 kWh	368 kWh
Abril	421 kWh	416 kWh	345 kWh
Mayo	416 kWh	487 kWh	333 kWh
Junio	526 kWh	516 kWh	385 kWh
Julio	377 kWh	546 kWh	485 kWh
Agosto	637 kWh	559 kWh	410 kWh
Setiembre	478 kWh	425 kWh	351 kWh
Octubre	439 kWh	408 kWh	384 kWh
Noviembre	400 kWh	479 kWh	282 kWh
Diciembre	524 kWh	590 kWh	621 kWh
Total Anual	5709 kWh	6030 kWh	4670 kWh
Variable / Año	2011	2012	2013
Personas en el hogar	3 personas	3 personas	3 - 4 personas
Variación (en kWh)	—	+ 321 kWh	- 1360 kWh
Variación (en %)	—	+ 6%	- 23%
Variación (en \$)	—	+ \$ 1961	- \$ 8310

Tabla 1 – Registro de consumo eléctrico mensual y anual. Valores de variabilidad entre años consecutivos.

Existen dos particularidades que merecen ser mencionadas:

- El 12 de julio de 2013 se incorpora un adulto al hogar, lo cual cambia el perfil de consumo y será analizado posteriormente. Se puede apreciar que a partir de este mes la diferencia con el

- consumo de 2012 es menor (con excepción de diciembre 2013).
- En el mes de diciembre de 2013 se experimentó una fuerte ola de calor en la ciudad, derivando un alto consumo eléctrico debido al uso intensivo de aire acondicionado. Esto se puede constatar en la prensa de ese periodo, donde meteorología emitió estados de alerta naranja y amarilla, y hubo repercusión en la prensa local debido a los altos montos de las facturas de consumo eléctrico en la ciudad.

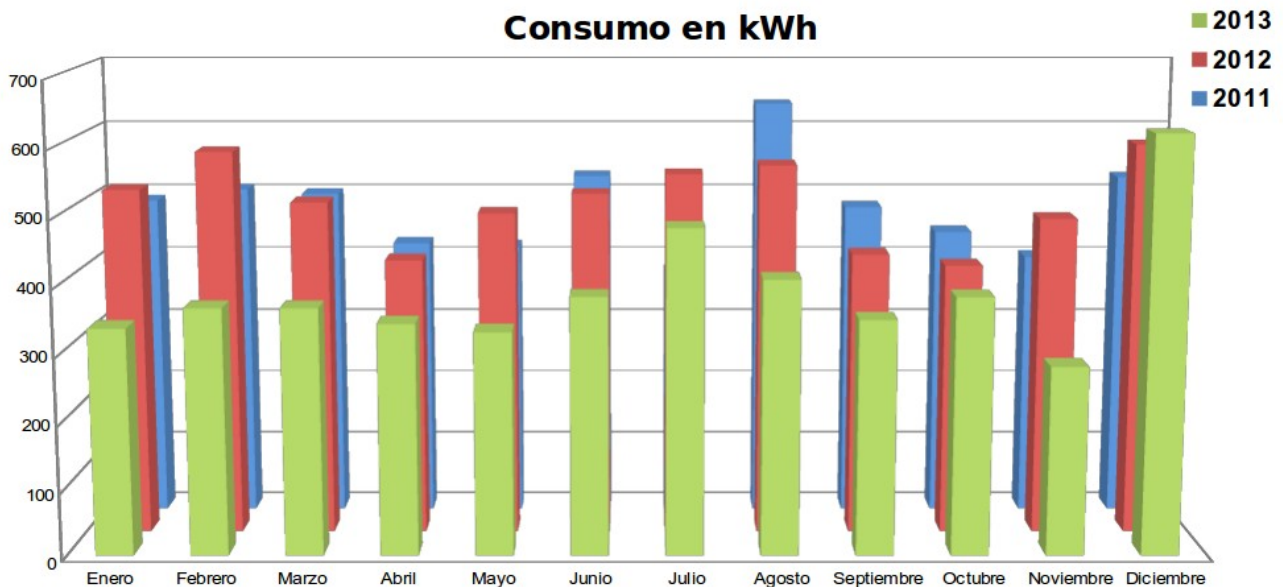


Fig. 2 – Consumo mensual del hogar. 2011 y 2012 sin sistema solar. 2013 con sistema solar.

A continuación se presenta en la Tabla 2 un análisis de la variabilidad mensual del consumo entre años donde no hubo cambios aparentes (2012-2011) y luego de haber instalado el sistema de calentamiento solar de agua sanitaria (2013-2012).

Mes / Año	2011-2012	2012-2013
Enero	+ 7 %	- 35 %
Febrero	+ 15 %	- 36 %
Marzo	+ 1 %	- 27 %
Abril	- 1 %	- 17 %
Mayo	+ 17 %	- 32 %
Junio	- 2 %	- 25 %
Julio	+ 45 %	- 11 %
Agosto	- 12 %	- 27 %
Setiembre	- 11 %	- 17 %
Octubre	- 7 %	- 6 %
Noviembre	+ 20 %	- 41 %
Diciembre	+ 13 %	+ 5 %

Tabla 2 – Análisis de variabilidad mensual del consumo eléctrico para el periodo 2011-2012 y 2012-2013.

Rápidamente se puede observar que existe una tendencia consistente a la baja entre 2012 y 2013 por la presencia del sistema de calentamiento solar. Otro factor interesante a tener en cuenta es

la variabilidad que presenta el consumo entre 2011 y 2012 donde aparentemente no hubo cambios destacados en el perfil de consumo. En este caso se aprecia que la variación es aleatoria, teniendo variaciones a la baja y a la alta. Estas variaciones se pueden atribuir a muchos motivos, cambios climáticos (más calefacción o aire acondicionado), variaciones en la fecha en la que se toma el consumo (provocando diferencia en la cantidad de días de cada período), vacaciones, visitas, etc.

El ahorro eléctrico encontrado comparando el año 2012 y 2013 fue de 1360 kWh anuales, lo que equivale a \$ 8310 sin considerar la bonificación del Plan Solar. Si se compara el consumo de 2013 con el promedio de los consumos de 2011 y 2012 (5870 kWh) se obtiene un ahorro eléctrico de 1200 kWh (\$ 7332). Como las condiciones de utilización variaron de forma sustancial durante 2013 respecto a la de los años anteriores, este análisis es conservador y es demasiado casuístico a la situación específica.

3.3. Análisis de meses en similares condiciones de uso

Un primer análisis se puede realizar incluyendo sólo los meses donde el hogar estaba habitado por 3 personas. Para los datos presentados, esa situación se configura en el primer semestre del año. En la Tabla 3 se presentan estos datos semestrales.

Mes / Año	2011	2012	2013
Enero	488 kWh	522 kWh	338 kWh
Febrero	505 kWh	579 kWh	368 kWh
Marzo	498 kWh	503 kWh	368 kWh
Abril	421 kWh	416 kWh	345 kWh
Mayo	416 kWh	487 kWh	333 kWh
Junio	526 kWh	516 kWh	385 kWh
Total semestral	2854 kWh	3023 kWh	2137 kWh
Variable / Año	2011	2012	2013
Personas en el hogar	3 personas	3 personas	3 personas
Variación (en kWh)	—	+ 169 kWh	- 886 kWh
Variación (en %)	—	+ 6%	- 29%
Variación (en \$)	—	+ \$ 1033	- \$ 5413

Tabla 3 – Registro de consumo eléctrico para los meses con misma ocupación en el hogar. Total semestral y variación encontrada entre dos primeros semestres consecutivos.

Anualizando los resultados, sobre una base de **3 personas** se puede estimar un ahorro de 1772 kWh entre el año 2012 y 2013. Sin considerar la bonificación del Plan Solar, el dinero ahorrado por concepto de ahorro eléctrico sería de \$ 10827 en el año. Comparando con el promedio de 2011 y 2012 el ahorro sería de 1603 kWh (\$ 9794). Un análisis más detallado se realiza en el siguiente apartado donde se compensa el perfil de consumo durante todo el período considerado, extendiendo el análisis a una situación con similares perfiles de consumo durante todo el año.

3.4. Análisis compensando perfil de consumo

Como la cantidad de personas residentes en el hogar aumentó de 3 a 4 a partir de mediados

de julio de 2013, es necesario realizar un ajuste para que los perfiles de consumo de los años anteriores resulten similares. Para esto se asume la hipótesis de que la persona adicional, en ausencia del sistema de calentamiento solar, provocaría un aumento en el consumo eléctrico de un 20 %. Este criterio es conservador pues de usarse un criterio matemático debería utilizarse un 33 %. Se entiende que este criterio es más adecuado pues existen consumos en el hogar que no dependen del número de personas, como por ejemplo la iluminación exterior. En los años 2012 y 2011 se realizó un aumento del 10 % en el mes de julio y 20 % entre agosto y diciembre, meses en los cuales radica la diferencia. Este ajuste permite equiparar de forma aproximada los perfiles de consumo y se logra una comparación más justa del ahorro, considerando los consumos mensuales ante iguales condiciones de ocupación del hogar. La situación sintética generada es equiparable a haber tenido una ocupación promedio de 3.5 personas por año (entre 3 y 4 personas por año).

Mes / Año	2011	2012	2013
Enero	488 kWh	522 kWh	338 kWh
Febrero	505 kWh	579 kWh	368 kWh
Marzo	498 kWh	503 kWh	368 kWh
Abril	421 kWh	416 kWh	345 kWh
Mayo	416 kWh	487 kWh	333 kWh
Junio	526 kWh	516 kWh	385 kWh
Julio	415 kWh	601 kWh	485 kWh
Agosto	764 kWh	671 kWh	410 kWh
Setiembre	574 kWh	510 kWh	351 kWh
Octubre	527 kWh	490 kWh	384 kWh
Noviembre	480 kWh	575 kWh	282 kWh
Diciembre	629 kWh	708 kWh	621 kWh
Total Anual	6242 kWh	6577 kWh	4670 kWh
Variable / Año	2011	2012	2013
Personas en el hogar	3 - 4 personas	3 - 4 personas	3 - 4 personas
Variación (en kWh)	—	+ 335 kWh	- 1907 kWh
Variación (en %)	—	+ 5%	- 29%
Variación (en \$)	—	+ \$ 2047	- \$ 11652

Tabla 4 – Registro de consumo eléctrico mensual y anual. Valores de variabilidad entre años consecutivos.

Al realizar la compensación, la baja respecto al consumo anterior se mantiene pareja a lo largo del año. Esto se puede apreciar en la Fig. 3. Sobre la base de una ocupación promedio de 3.5 personas, el ahorro entre 2012 y 2013 fue de 1907 kWh (\$ 11652). Se debe notar que la ganancia es mayor que la obtenida para 3 personas, pero la relación no es lineal con la cantidad de personas. Si se compara con el promedio de 2011 y 2012, el ahorro anual se estima en 1740 kWh (\$ 10628). Los porcentajes de variación global del consumo son similares a los obtenidos en el análisis del apartado anterior. En ambos casos se obtuvo un ahorro del 29% entre años consecutivos debido a la instalación del sistema de calentamiento solar de agua sanitaria y el aumento de consumo entre el 2011 y 2012 rondó el 5-6%.

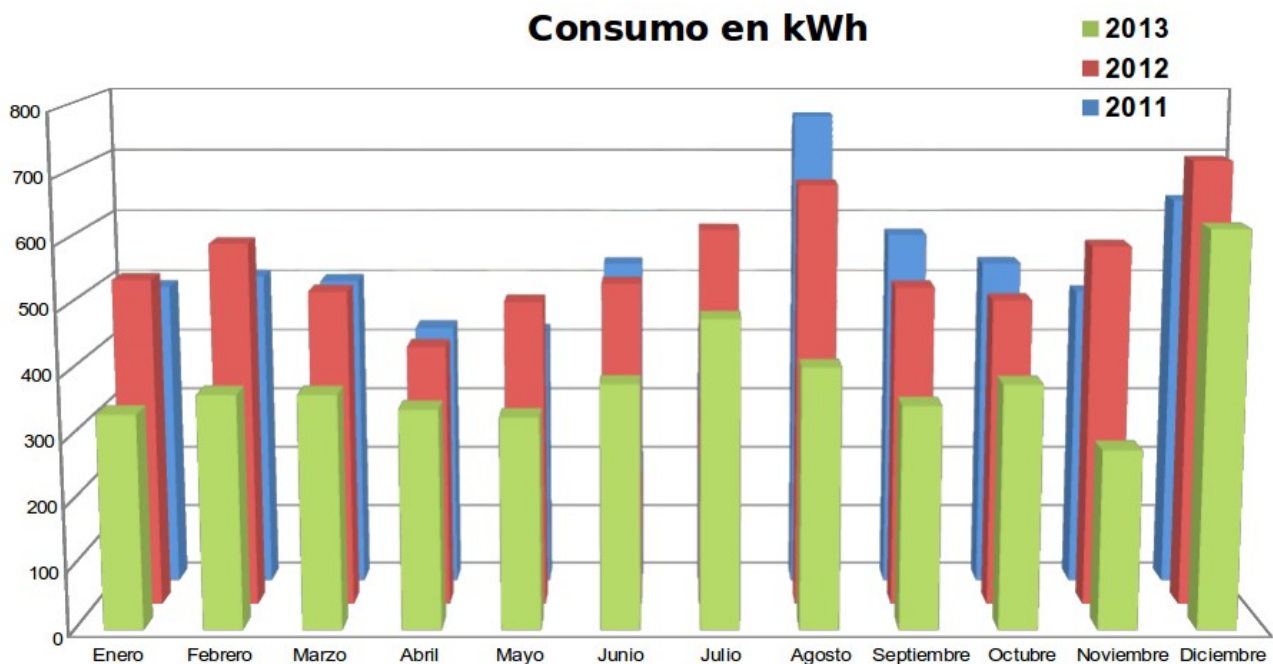


Fig. 3 – Consumo mensual del hogar compensando consumos. 2011 y 2012 sin sistema solar. 2013 con sistema solar.

4. Conclusiones

Tomando en cuenta las correcciones realizadas para tener en cuenta la variación en el perfil de consumo, se observa que el ahorro obtenido es de aproximadamente un 30%. Esto representa, para el hogar estudiado, aproximadamente 1900 kWh cuando la ocupación promedio es de 3.5 personas, lo que a la tarifa vigente corresponde a \$ 11600. Esto es un 35% mayor a lo previsto inicialmente mediante RETScreen. La evaluación del RETScreen no queda invalidada por este estudio pues se está comparando un año particular frente a un valor estadístico de largo plazo. Si bien no se debe pretender mantener literalmente estas relaciones en cualquier caso de uso, este estudio da una indicación de que el ahorro en el consumo eléctrico es efectivo. Los valores particulares de cada situación dependen de la configuración adoptada, el perfil de consumo del hogar, la relación entre el equipo utilizado y el consumo de agua caliente, el clima del año, etc.

Si las condiciones de ahorro entre el año 2012 y 2013 se mantuvieran en el tiempo, considerando el ahorro del consumo eléctrico y un costo de mantenimiento anual de \$ 500 (cambio de ánodo, revisión aislación, revisión general de funcionamiento), el ahorro estimado de este hogar sería de aproximadamente \$ 11100 anuales. Suponiendo un costo del equipamiento y su instalación de aproximadamente \$ 55000, teniendo en cuenta el beneficio del plan solar por un total de \$ 20500 IVA incluido y una inflación del 9% anual, la inversión en el calentador solar se habría pagado luego de 32 meses de funcionamiento (entre 2.5 y 3 años). Si el usuario eligió un equipamiento de buena calidad que pudiese operar por lo menos por 15 años, se obtendría un mínimo de 12 años de ahorro totalizando una ganancia \$ 133200 (al valor de enero 2014) en 15 años de funcionamiento.

Especial cuidado se debe tener con el perfil de consumo, puesto que cualquier variación que no sea tenida en cuenta puede provocar una percepción errónea del ahorro obtenido. Para finalizar, el análisis de variación mensual nos alerta sobre los peligros de realizar comparaciones mes a mes, por lo que se deberían realizar comparaciones del tipo anual. La variación mensual puede ser influida por diversos factores, provocando falsas percepciones.

Apéndice A: características técnicas del equipo instalado

Equipamiento: Sistema prefabricado compacto de fabricación nacional (Uruguay).

Tipo de colector: Colector plano.

Datos del sistema: **Colector:**

Área de colección 2.0 m². 10 tubos de cobre ($\Phi = \frac{1}{4}$ inch).

Aletas de aluminio con pintura selectiva ($\epsilon = 0.88$ y $\alpha = 0.25$).

Aislamiento de lana vidrio (0.042W/m K) 25 mm lateral y 38 a 50 mm fondo.

Acumulador:

150 Lt con aislamiento de lana vidrio (0.042W/m K) de 76 mm.

Intercambiador de doble envolvente.

Estratificación facilitada por el diseño hidráulico.

Aislación de cañerías al hogar:

19 mm en su mayoría y 9 mm en tramos cortos.

