

BENEFICIOS ECONOMICOS Y AMBIENTALES DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGIA SOLAR TERMICA EN UNA VIVIENDA

N. Diaz¹, M. Barrios¹, C. Ferrarese¹, M. A. Lara²

Maestría Energía para el Desarrollo Sostenible

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (EPEC - FCEIA)

Av. Pellegrini 250 - Planta Baja – C.P. 2000 – Rosario - Teléfono: +54 - 341 – 4802649 /52

noragediaz@hotmail.com – marcebarrios09@hotmail.com – caritoferrarese@yahoo.com.ar - malara@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es evaluar los beneficios de la aplicación de colectores solares planos para agua caliente sanitaria y calefacción por piso radiante en una vivienda unifamiliar, como complemento de sistemas tradicionales gas licuado de petróleo (GLP).

El caso de estudio consiste en un proyecto diseñado con criterios bioclimáticos y de conservación de la energía, actualmente en ejecución en la zona periférica de la ciudad de Rosario.

Para el cálculo del área de los colectores se utiliza el método F-chart en base a las necesidades de agua caliente sanitaria, las cargas térmicas de calefacción y los datos climáticos de la zona.

Como resultado, se decide adoptar 4 paneles con una superficie total de 8m² que abastecen completamente la demanda de agua caliente sanitaria y colaboran con la calefacción, obteniendo un ahorro del 45% en el consumo anual de GLP y disminuyendo en la misma proporción las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Palabras clave: colectores solares, diseño bioclimático, ahorro de energía.

INTRODUCCION

En nuestro país, el sector residencial y público consume un 57% del gas distribuido por redes y un 7% del gas licuado según la Secretaría de Energía de la Nación (2008). Este combustible, proveniente de recursos no renovables, es utilizado mayormente para cocinar, calentar agua y calefaccionar, su consumo presenta un incremento anual, debido entre otras cosas a la expansión de las redes de gas y al bajo precio que paga el consumidor (por los subsidios). Este incremento, no solo acelera el agotamiento del recurso, sino que genera además emisiones contaminantes a la atmósfera.

La arquitectura bioclimática se vale de criterios de ahorro de energía, aprovechamiento de las mejores orientaciones y balance de llenos y vacíos para el dimensionamiento de las aberturas. A fin de controlar las pérdidas de calor en invierno y consecuentemente, obtener un mejor rendimiento de las instalaciones de calefacción se definen las características constructivas de la envolvente de acuerdo a la Norma IRAM de Acondicionamiento térmico de los edificios N°11601, en función de las características del clima del lugar de emplazamiento de la obra.

UBICACIÓN Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en un Country cercano a Rosario, a una latitud de 33° Sur y longitud 60° Oeste, en un terreno de 375m², orientado hacia la calle pública al Sur y los otros tres lados medianeros.

Como premisas de proyecto, la vivienda se diseñó en planta baja, la superficie total es de 240m², mientras que la superficie a calefaccionar es de 153m²; se desarrolló en forma de "U" a fin de aprovechar mejor las orientaciones, generar ventilación cruzada y un jardín íntimo alrededor del cual se vuelcan la mayor parte de los espacios. El partido permitió lograr buenas condiciones de iluminación natural, se diseñaron aleros para protección solar en verano, que permiten la entrada de sol directo en invierno. Los muros son de ladrillos de Hormigón Celular Curado en Autoclave (HCCA), revocados en ambas caras; la cubierta es plana, de viguetas pretensadas y ladrillos cerámicos, de 20cm de alto. El hormigón de pendiente se ejecutó con vermiculita de 800kg/m³ de densidad y se agregó un aislante térmico de poliestireno expandido de 30kg/m³ de densidad. Las aberturas son de aluminio, línea A30New de ALUAR con doble vidriado hermético.

Se verificaron, de acuerdo a la Norma IRAM N°11601, las transmitancias térmicas de los materiales componentes de la envolvente y se calculó mediante el procedimiento establecido en la Norma IRAM N° 11604, que el Coeficiente Global de Pérdidas de calor para condiciones de Invierno es de 1,23W/m²K, mientras que el coeficiente admisible por la Norma es de 1,53W/m².

¹ Alumnas Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible FCEIA UNR

² Investigador CONICET, docente Módulo Energía Solar Térmica, Maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible FCEIA UNR

A continuación se detallan materiales y espesores de los principales componentes constructivos en muros y cubierta.

MUROS		CUBIERTA	
Material	Espesor [m]	Material	Espesor [m]
Revoque exterior	0,03	Losa de viguetas y ladrillos cerámicos	0,20
Mampostería de HCCA	0,20	Hormigón pendiente c/vermiculita densidad 800kg/m ³	0,08
Revoque interior	0,02	Carpeta de terminación	0,03
		Poliestireno expandido. Densidad 30kg/m ³	0,75
		Cielorraso aplicado a la cal	0,02

Tabla 1y 2: Composición material y espesores de Muros y cubierta

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA Y LA RADIACIÓN DISPONIBLE

La ciudad de Rosario y alrededores, se cataloga con clima templado pampeano, de acuerdo a la Norma IRAM 11603, Rosario se ubica en la zona Bioambiental III (templada cálida).

Para realizar los cálculos se consideran los datos de la siguiente tabla: temperaturas promedio mensual y anual y los índices promedio de Radiación horizontal y a 45° (que es la inclinación recomendada para los colectores solares, orientados hacia el Norte).

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio
Tª. media ambiente [°C]:	23,90	23,00	20,70	17,00	13,80	10,40	10,40	11,10	13,80	17,00	20,00	22,80	17,0
Rad. horiz. [MJ/m ² /día]	24,8	22,6	18,2	14,3	10,5	8,5	9,1	12,1	15,9	19,8	23,2	24,4	17,0
Rad. inclin. 45° [MJ/m ² /día]	20,4	20,7	19,2	18,0	15,1	13,0	13,4	16,0	17,8	18,9	19,7	19,6	17,7

Tabla 3: Temperaturas medias e Índices de Radiación horizontal y a 45°

ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA

El sistema propuesto abastece el consumo de agua caliente sanitaria y complementa la calefacción por piso radiante. La vivienda fue diseñada para 6 personas y el consumo de agua caliente por persona se estima en 50Lts por día, por lo tanto, el consumo de agua caliente máximo será de 300Lts por día a una temperatura de 45°C. En consecuencia, se diseñó un sistema de colectores con una capacidad de acumulación superior a ésta.

El cálculo de la **energía necesaria para calentar el agua**, se obtiene a partir de:

$$Q = c * q * (T_u - T_f) \quad (1)$$

Por lo tanto:

$$Q = 39,06 \text{ MJ/día}$$

A este valor se le agregaron las pérdidas de calor del Tanque (con 10cm de aislación), estimadas por el fabricante en un 7% y las de las cañerías que están embutidas y se estiman en un 10%. Por lo tanto, la energía requerida para el agua caliente sanitaria resultó en promedio **45,7MJ/día**

Para la calefacción por suelo radiante, la temperatura del fluido requerida también es 45°C. Para determinar la energía de calefacción necesaria, se realizó el procedimiento indicado en la Norma IRAM 11604:

$$Q_{cal} = \frac{24hs * \sum D * G_{cal} * V}{1000} \quad (2)$$

El coeficiente volumétrico de pérdidas de calor fue calculado según la misma norma:

$$G_{cal} = \frac{\sum K_m * S_m + \sum K_v * S_v + P_{er} * P_p}{V} + 0,35n \quad (3)$$

$$G_{cal} = \frac{\frac{0,48W}{m^2 \cdot K} \cdot 133,8m^2 + \frac{1,9W}{m^2 \cdot K} \cdot 52,2m^2 + 76m \cdot \left(\frac{0,93W}{m \cdot K}\right)}{371m^3} + 0,35W/m^3 \cdot K * 1,5W/m^3 \cdot K = 1,23 W/m^3 \cdot K$$

Con los datos de los Grados día de calefacción (base de 18°C como temperatura interior de diseño) y el coeficiente volumétrico de pérdidas de calor G_{cal} , se calcula la demanda de energía necesaria para la calefacción por mes con la expresión (2):

Meses	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Grados día calefacción	0	0	3	34	105	169	206	135	80	21	5	0
Qcal [MJ]	0	0	126,79	1436,98	4437,74	7142,65	8706,42	5705,67	3381,14	887,55	211,32	0

Tabla 4: Grados día de calefacción y demanda energética mensual para calefacción

Por lo tanto, la **necesidad total mensual de energía** se vuelca en la siguiente tabla:

Meses	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Q [MJ/mes] ACS	1210,8	1093,6	1210,8	1171,8	1210,8	1171,8	1210,8	1210,8	1171,8	1210,8	1171,8	1210,8
Qcal[MJ/mes] CALEFACCION	0,0	0,0	126,79	1436,9	4437,7	7142,6	8706,4	5705,6	3381,1	887,5	211,3	0,0
TOTAL ENERGIA NECESARIA	1.416,7	1.279,6	1.543,5	2.808,0	5.854,4	8.513,6	10.123,1	7.122,4	4.752,1	2.304,2	1.582,3	1.416,7

Tabla 5: Demanda energética promedio mensual total

A partir de esta información se aplicó el método de cálculo "F-chart" (Beckman et al., 1977) para realizar la estimación del factor de aporte de energía solar f mediante la ecuación:

$$f = (1,029 * Y - 0,065 * X - 0,245 * Y^2 + 0,018 * X^2 + 0,0215 * Y^3) / A \quad (4)$$

Donde la variable adimensional X está asociada con la relación entre las pérdidas térmicas de los colectores y la carga térmica, e Y , con la relación entre energía solar captada y la carga térmica (Lara, M.A. 2008).

Para el cálculo de la fracción solar se adoptan los colectores solares según las especificaciones técnicas provistas por el fabricante (INNOVAR SRL):

- Rendimiento = $0,71 - 5,1 x$, siendo $x = (\text{temp. media del colector} - \text{temp. media ambiente}) / \text{Irradiancia solar por } m^2$, ordenada al origen 0,71)
- Cubierta de policarbonato de espesor 4mm
- Material: dos chapas de acero inoxidable AISI 403 soldadas.
- Caudal por termosifón máximo de 50 litros /hora.

A continuación se realiza una comparación de los porcentajes de cobertura de la demanda mensual, a través del estudio de la energía obtenida en los distintos casos de acuerdo a la superficie colectora, se resaltan los valores que indican la necesidad de complementar la energía con otra fuente:

Meses	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Fracción solar 1 colector (2m ²)	0,48	0,49	0,42	0,21	0,09	0,05	0,04	0,08	0,12	0,28	0,40	0,46
Fracción solar 2 colectores (4m ²)	0,96	0,97	0,83	0,42	0,18	0,10	0,09	0,15	0,25	0,56	0,81	0,92
Fracción solar 3 colectores (6m ²)	1,44	1,46	1,25	0,64	0,26	0,15	0,13	0,23	0,37	0,84	1,21	1,38
Fracción solar 4 colectores (8m ²)	1,92	1,94	1,66	0,85	0,35	0,20	0,18	0,31	0,50	1,11	1,61	1,84
Fracción solar 6 colectores (12m ²)	2,88	2,92	2,49	1,27	0,53	0,30	0,27	0,46	0,75	1,67	2,42	2,76
Fracción solar 8 colectores (16m ²)	3,84	3,89	3,32	1,69	0,71	0,40	0,36	0,62	1,00	2,23	3,23	3,68

Tabla 6: Fracción solar mensual de las distintas alternativas estudiadas

Vale la pena aclarar que los datos se tomaron para valores mensuales promedio, o sea que la situación puede variar de lo estimado diariamente.

Del análisis realizado se desprende que la instalación de 4 colectores de 2 m² cada uno, permite cubrir aproximadamente un 23% de la demanda anual promedio de calefacción (entre Abril y Septiembre) y el 100% de la demanda anual de agua caliente. Para completar la calefacción (77%) se utiliza una caldera dual alimentada con energía convencional (GLP).

El siguiente gráfico muestra la importante demanda de energía requerida en los meses de invierno y que un aumento de la superficie colectora incide muy poco en la cobertura de las necesidades de calefacción.

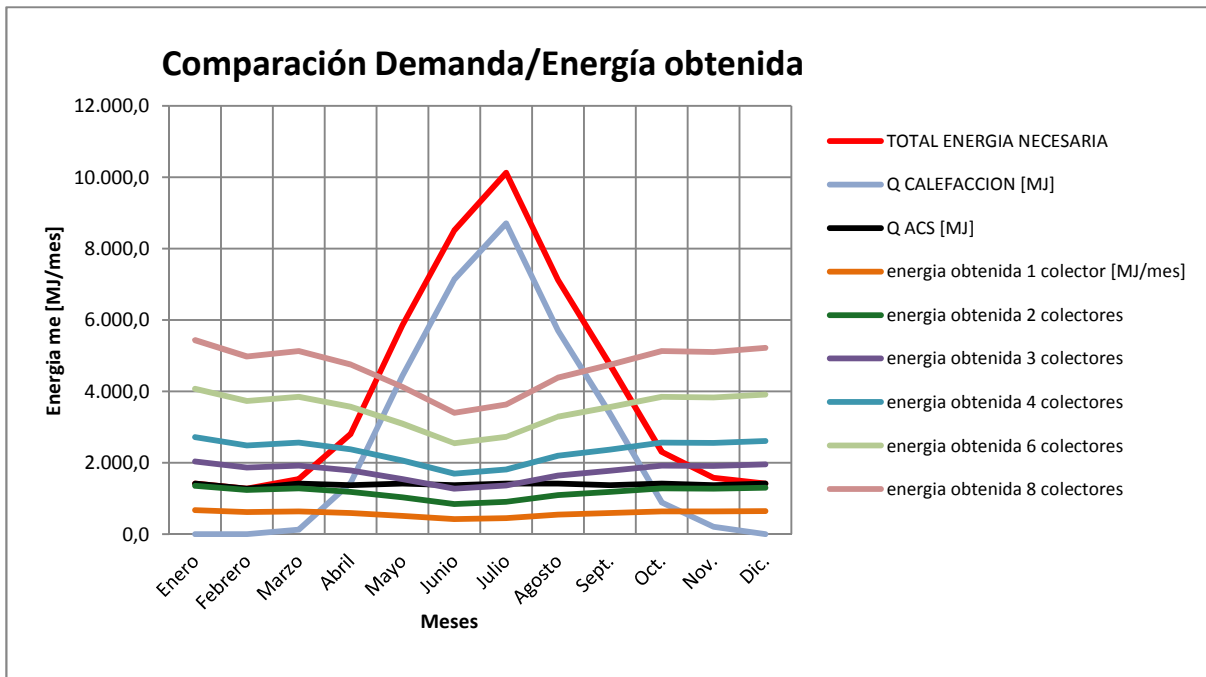


Gráfico 1: Comparación de la demanda energética mensual con la energía obtenida de los colectores

DESCRIPCION DEL SISTEMA

Se trata de un sistema abierto, es decir, el agua que circula por el colector es la misma que se utiliza para el consumo. Se compone de 4 colectores solares planos (2 m² cada uno) con orientación al Norte y una inclinación de 45° y dos tanques de acumulación aislados de 395lt, ubicados en la cubierta de la vivienda, la circulación del agua se realiza por termosifón adecuando las diferencias de alturas entre el colector solar y el tanque de acumulación.

El sistema de calefacción por piso radiante, cuenta con un caño colector –distribuidor desde donde se conecta un circuito para cada habitación y una bomba que recircula el agua nuevamente hasta la cubierta donde se ubica el sistema solar. A fin de completar demanda energética de calefacción cuando sea necesario, se adopta una caldera dual alimentada con GLP.

ESQUEMA DE INSTALACION

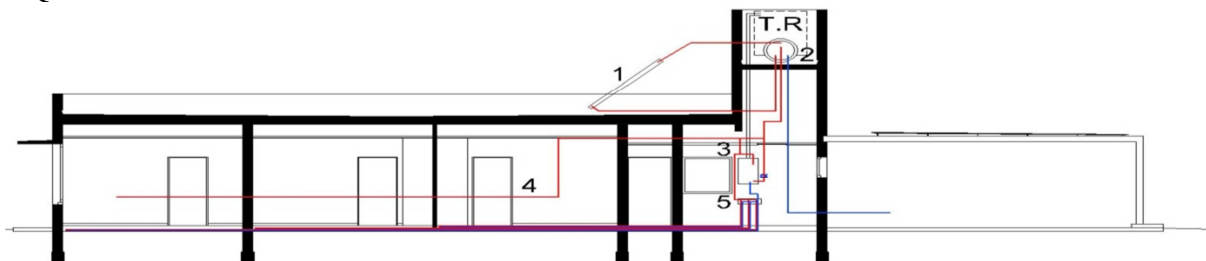


Figura 1: Corte de la vivienda con la ubicación y conexiones de los elementos

- 1.- Cuatro colectores solares planos en paralelo.
- 2.- Dos tanques de 395lts cada uno.
- 3.- Caldera dual a gas para complementar la demanda.
- 4.- ACS
- 5.- Calefacción por piso radiante.
- TR.- Tanque de Reserva.

Se muestra en las siguientes imágenes, la evolución y estado de avance de la obra



Figura 2: Etapa de elevación de muros



Figura 3: Fachada Sur sobre calle pública en ejecución



Figura 4: Fachada Norte en ejecución



Figura 5: Espacio abierto central (futuro jardín) orientado al Norte

CONSUMO ENERGETICO Y EMISIONES DE CO₂

A continuación se compara el consumo energético total anual de la vivienda, con las necesidades que complementan la instalación de los colectores solares, en kg de GLP. Para calcular el consumo de GLP en kg, se dividió la energía necesaria, (teniendo en cuenta que el rendimiento de la caldera es del 90%) por el poder calorífico del gas que es 49,4MJ/m³.

Meses	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Consumo de GLP sin aporte solar [kg]	64,52	58,28	70,29	127,88	266,62	387,73	461,03	324,37	216,42	104,94	72,06	64,52	2218,67
Consumo de GLP con aporte 4 colectores [kg]	-	-	-	19,54	172,61	310,33	378,28	224,38	108,36	-	-	-	1213,49

Tabla 7: Cálculo del consumo de GLP con y sin aporte solar

Considerando que cada kg de GLP consumido produce emisiones de 2,96 kg de CO₂ (Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, Generalitat de Catalunya, 2011), se desprende que sin aporte solar se emitirían un total de **6567,26 kg de CO₂** mientras que con el aporte de la instalación presentada, la emisión llegaría a **3591,94 kg de CO₂**. Por lo tanto, se concluye que con el aporte solar del sistema propuesto, se produce un importante ahorro de GLP y de emisiones de CO₂ a la atmósfera que llega a un **45%**

CALCULO DE COSTOS Y AMORTIZACION DEL SISTEMA

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Colector solar plano Modelo M6CN de Innovar (2m ²)	4	\$2.900	\$11.600
Tanque acumulador 395Lts	2	\$4.965	\$9.930
Conexiones hidráulicas	4	\$103	\$412
Estructura de soporte	1	\$3.412,6	\$3.412,6
Total Componentes			\$20.390

Tabla 8: Detalle de costos de los elementos componentes de la instalación

Dado que la zona donde se ubica la vivienda no cuenta con tendidos de gas natural, se analizó el tiempo de recuperación de la inversión comparando el costo de la misma con el ahorro producido de GLP debido a la incorporación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción.

AMORTIZACION DE LA INSTALACION	
Inversión	\$20.390
Consumo anual de GLP sin colectores	\$12.819
Consumo anual de GLP con 4 colectores	\$ 7.011
Recuperación de la inversión	3,5 años

Tabla 9: Amortización de la inversión

De las tablas se observa que:

Con un sistema tradicional de ACS y calefacción por piso radiante para esta vivienda, se consumen anualmente \$12.819 de GLP (considerando que el precio del tubo de 45kg de GLP es de \$260, en agosto de 2012 en Rosario).

Utilizando un sistema solar con 4 colectores solares calentadores de agua, abasteciendo el 100% del ACS y un promedio del 23% de la energía necesaria para calefacción entre Abril y Septiembre, el consumo de GLP se reduce a \$7.011 anuales.

La inversión para este sistema es de \$20.390, monto que se amortiza aproximadamente en 3-4 años.

CONCLUSIONES

Es importante destacar el ahorro de recursos no renovables que se puede realizar a través de la incorporación de energías alternativas como es en este caso la solar térmica.

La premisa fundamental para las instalaciones de aprovechamiento de la energía solar es obtener altos niveles de confort a un bajo costo mensual, para lo cual es importante considerar en las obras de arquitectura, principios de conservación de la energía y eficiencia energética desde las primeras decisiones de proyecto.

Podemos concluir que para el caso analizado resulta favorable tanto económica como ambientalmente la instalación de 4 colectores solares, que brindan los siguientes beneficios:

- Se cubre un 100% de la demanda de ACS anual
- En calefacción se abastece un promedio del 23% de la demanda invernal
- Se ahorra un 45% de consumo de GLP anual con respecto a un sistema tradicional sin el recurso solar.
- Las emisiones de CO₂ se reducen un 45% anual (2975kg de CO₂) con respecto a un sistema tradicional de GLP.
- La inversión se recupera en algo más de cuatro años, mucho antes del fin de la vida útil del sistema (20-25 años).

Ante la diferencia de la demanda energética, que en condiciones de invierno es muy superior a la de verano, se podrían pensar algunas alternativas, a fin de utilizar la energía excedente para otras aplicaciones, entre ellas el aprovechamiento del piso radiante para refrigeración mediante un sistema con bomba de calor, o para la climatización de una piscina.

Instalaciones como la presentada, son razonables en los casos donde no existe red de gas natural, ya que el bajo costo del mismo haría que en las condiciones actuales, la inversión no se recupere antes del fin de la vida útil de los equipos.

Además del recupero de la inversión económica, es necesario enfatizar que se requiere un compromiso por parte del usuario con el medioambiente, tanto en su modo de vida como para tomar la decisión de generar un importante ahorro en el consumo de combustibles fósiles y evitar emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Por otro lado, sería importante el apoyo del gobierno (en todos sus niveles) a las energías alternativas. Este apoyo debería darse en primera instancia a través de campañas de difusión para que la población conozca las posibilidades y entienda la factibilidad de las instalaciones y además deberían implementarse planes de financiamiento que permitan invertir en este tipo de instalaciones que redundan en el beneficio de la comunidad toda.

En países europeos como España, por ejemplo, el Código Técnico de Edificación limita la demanda energética, exige porcentajes de aportes de energía solar para agua caliente y condiciones de eficiencia energética que junto a subvenciones como las del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), y algunas Comunidades Autónomas que financian hasta en 11 años este tipo de instalaciones, lo que resulta muy beneficioso.

NOMENCLATURA

Q: energía necesaria (MJ/día)

c: calor específico del agua (4,2 KJ/lt)

q: Caudal diario necesario de agua (300 lt/día)

Tu: temperatura de utilización (45°C)

Tf: temperatura del agua de red (14°C)

Qcal: carga térmica mensual de calefacción [MJ/mes]

24: tiempo de calefacción por día en horas

$^{\circ}D$: grados día de calefacción 18° mensual obtenidos de <http://eosweb.larc.nasa.gov>
Gcal: coeficiente volumétrico de pérdida de calor de la vivienda [$W/m^3.K$]
V: volumen interior del edificio [m^3]
Km: transmitancia térmica de los elementos de cerramientos opacos [$W/m^2.K$]
Sm: superficies de los elementos opacos [m^2]
Kv: transmitancia térmica de los elementos no opacos [$W/m^2.K$]
Sv : superficies de los elementos no opacos [m^2]
Per: perímetro del piso en contacto con el aire exterior [m]
Pp: pérdidas por el piso [W/m^2] (Zona bioambiental III con aislación 0,93)
0,35: capacidad específica asumida del aire [W/m^3K]
N: número de renovaciones de aire promedio por hora

REFERENCIAS

- Beckman, Klein y Duffie (1977) Solar Heating Design by the F- Chart Method. Wiley, New York
- Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, Generalitat de Catalunya (2011) Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- INNOVAR S.R.L. San Luis, www.innovarsrl.com.ar (consultada en Marzo 2012)
- IRAM, Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2002) Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. NORMA 11601
- IRAM, Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1996) Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. NORMA 11603
- IRAM, Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2001) Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. NORMA IRAM 11604
- Lara, M.A.(2008) Ejemplo de aplicación del método de cálculo F-chart
- Secretaría de Energía de la Nación (2008). Balance energético Nacional

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the benefits of the implementation of flat solar collectors for hot water and radiant floor heating in a detached house, in addition to traditional systems (liquefied petroleum gas LPG).

The case study is a project designed with bioclimatic and energy conservation criteria, currently running on the outskirts of the city of Rosario.

To calculate necessary collectors' area it was used the F-chart method, based on the needs of domestic hot water heating thermal loads, and climatic data of the area.

The result was 4 panels with a total area of $8m^2$ to fully satisfy the demand for hot water and contribute with heating, deriving in a saving of 45% the annual consumption of LPG and decreasing by the same amount of CO_2 emissions to the atmosphere.

Key words: solar power, solar collectors, energy saving