

PROYECTO DE VIVIENDA DE ALTA AISLACIÓN, CARBONO NEUTRA Y CON ENERGÍA SOLAR.

M. Vega¹, M. Baqué^{2,3}, H. Goñi², V. Bassi³ y R. D. Piacentini^{1,4}

1. Laboratorio de Eficiencia Energética, Sustentabilidad y Cambio Climático, IMAE/FCEIA/UNRosario, Rosario, Argentina. Tel 0341.4808538/39, e-mail: marcelo.vega@eie.fciea.unr.edu.ar

2. Estudio Baqué-Goñi, Chacabuco 1282, 2000 Rosario, Argentina.

3. Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura/UNRosario, Rosario, Argentina

4. Instituto de Física Rosario (CONICET –UNRosario), 27 de Febrero 210bis, 2000 Rosario, Argentina. Tel 0341.4853200 (interno 128), e-mail: ruben.piacentini@gmail.com

Recibido: 13/08/12; Aceptado: 28/09/12

RESUMEN: Presentamos una vivienda diseñada para ser construida en serie y habitarse en corto plazo. Para lograr altas resistencias térmica y estructural, se emplea hormigón liviano de alta performance con placa aislante de poliuretano recubierta con láminas de acero en las paredes, techo con alta aislación y doble vidrio en las aberturas. Los tanques de agua están ubicados en el interior, aportando a la inercia térmica. El agua sanitaria es calefaccionada con colectores solares en el techo y el aire ingresa atemperado, a través de tubos subterráneos que aprovechan la inercia térmica del suelo y colectores a flujo de aire. Dado que una de sus aplicaciones es en lugares alejados de líneas de electricidad, tiene la posibilidad de incorporar sistema solar fotovoltaico. Destacamos la baja emisión de gases de efecto invernadero CO₂ (analizada mediante RETScreen V4.1), por el muy bajo consumo energético convencional, pudiendo llegar a ser *carbono neutra*, si se emplea la totalidad de fuentes renovables o se compensan emisiones.

Palabras clave: vivienda, alta tecnología, alta aislación, energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, carbono neutra.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo resume las investigaciones realizadas para desarrollar una edificación destinada a vivienda para 4-6 personas, realizada mediante procedimientos industriales y montada *in situ* en seco. La vivienda a evaluar se considerará orientada al Norte y ubicada en la zona de Rosario y su región, -que incluye las islas del delta del Paraná, aunque puede ser instalada en cualquier lugar del país, debiendo en tal caso re-analizarse el comportamiento térmico y eléctrico de dicha vivienda, según el clima y la intensidad de radiación solar imperante en la zona.

La vivienda ha sido analizada para la zona bioclimática correspondiente a Rosario y su región, considerando los datos climáticos de la base NASA Surface Meteorology and Solar Energy (SSE): <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen>.

La vivienda comprende: cocina, comedor y dos habitaciones según plano de detalle de superficie total de 68 m² (Figura 1.Izquierda), detalles particulares (Figura 2. Izquierda) y representación 3D de la vivienda (Figura 1.Derecha).

Se han realizado un gran número de estudios de viviendas que aprovechan la energía solar y que además tienen aislación térmica, pero muy pocos sobre viviendas Carbono neutra a nivel internacional, no teniéndose referencia de que existan estudios similares a nivel nacional. Respecto de los primeros, el Grupo de Energía Solar de Rosario tiene amplia experiencia en el tema (algunos trabajos son los siguientes: Di Bernardo et al. (1978); (1979); Piacentini et al. (1992); Piacentini y Sepiarsky (1994)). Algunos ejemplos de trabajos realizados por otros Grupos y publicados en las Revistas ERMA (Energías Renovables y Medio Ambiente: <http://www.asades.org.ar/erma.php>) y AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente: <http://www.asades.org.ar/averma.php>), son los siguientes: (Filippín y Beascochea (2004); Filippín et al. (2001); Filippín y Flores Larsen (2010); Czajkowski et al. (2008); Sosa y Mitch (2009); San Juan et al. (2010)). Respecto de los trabajos sobre viviendas de alta aislación y que no emiten o bien que tienen baja emisión de gases de efecto invernadero en balance neto, se detallan en la lista de referencias los siguientes: (Lazarus (2003); Pérez et al. (2008); Dalene (2012)). También vía internet se pueden consultar ejemplos concretos, tales como las viviendas: Carbon neutral Australia (<http://www.yourhome.gov.au/technical/pubs/fs14.pdf>), Zero carbon house Great Britain (<http://www.zerocarbonhouse.com/Theconcept.aspx>) y Superwall house New Zealand (<http://www.lockwood.co.nz/why-lockwood/lockwood-superwall>).

El basamento está conformado por seis soportes de dovelas de hormigón armado rellenas con hormigón reciclado (granza, hormigón de demolición o arena compactada) para reducir al máximo el impacto de la producción de dicho material en el total de la vivienda. Este basamento tiene la importante propiedad de transferir al suelo tensiones de bajo rango, que evitan asentamientos diferenciales. Las bases con forma tronco-piramidal soportan las vigas de sostén de la casa, las cuales se ubican a una altura de unos 0,80 m sobre el terreno y en las mismas se apoyan los paneles “U” de piso y se sujeta el paramento exterior de paneles “U” de hormigón armado pretensado. Esto genera un útil espacio técnico bajo el piso de la casa.

Debajo de la cota pisos se sitúan los desagües, accesibles y los elementos de infraestructura necesarios, cerrándose hasta el nivel definitivo con un talud de tierra y jardinería. Posee columnas perimetrales de ajuste de hormigón.

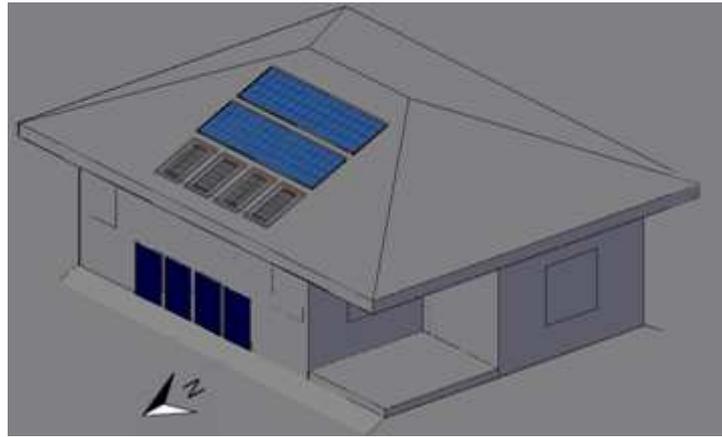
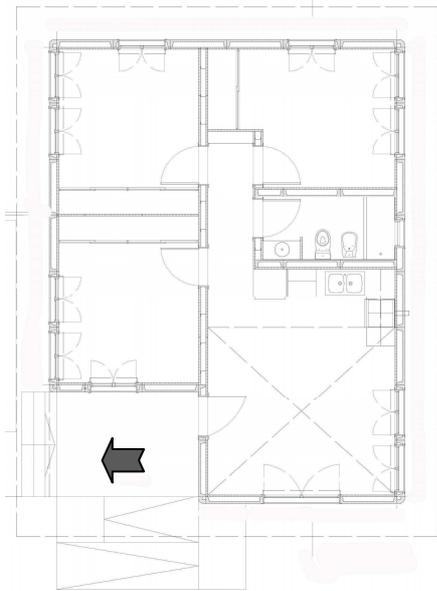


Figura 1. Izquierda. Detalle del plano de la vivienda, dimensiones 10m x 7m. Derecha. Vista exterior de la vivienda, mostrando sus características principales y los sistemas de captación solar (térmico y fotovoltaico).

Los paneles exteriores y la estructura de la vivienda, son módulos “U” de 1,20m de ancho de Hormigón Liviano de Alta Performance, HLAP (Figura 2. Medio) con densidad en el rango 1600 - 1700 Kg/m³. Estos paneles se emplean tanto para los elementos de piso y muros, como para el cielorraso que sostiene los tanques de agua interiores. La característica básica del HLAP es la de poseer como agregado liviano, la arcilla expandida que además de sus características de aislante térmico y acústico, reduce su peso en un 40%, sin perder esencialmente su resistencia mecánica. Este material ha sido ensayado en los Laboratorios especializados de Minetti-Holcin, Planta Malagueño, Provincia de Córdoba, en cuanto a resistencia, permeabilidad y elasticidad, con buena performance de resultados (Tabla1).

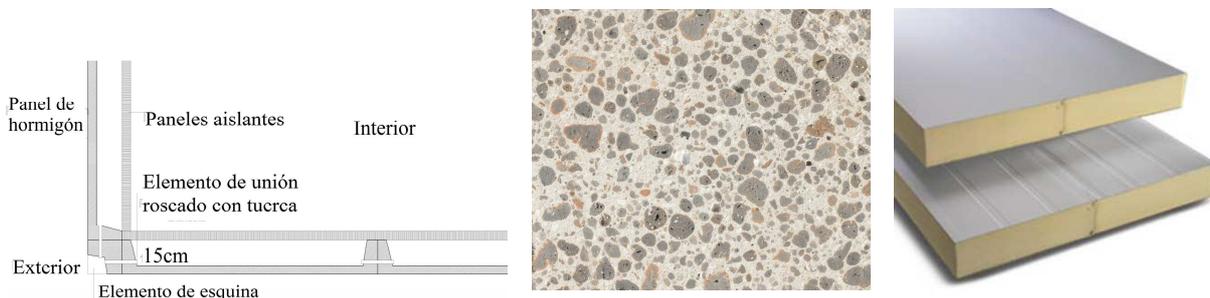


Figura 2. Izquierda. Planta: detalle de unión entre paneles verticales “U” y columnas perimetrales. Medio: detalle del HLAP. Derecha: paneles aislantes de poliuretano expandido con revestimiento exterior de chapa metálica en ambas caras.

Los tabiques estructurales y sanitarios, son de HLAP y los revestimientos y divisiones interiores no estructurales son paneles aislantes (Figura 2. Derecha) de doble chapa pintada con núcleo de poliuretano de alta densidad (40 Kg/m²) y retardante de llama, clasificación R1 según Normas ABNT (Asociación Brasileira de Normas Técnicas) homologadas.

Identificación	Pastón I	Pastón II	Pastón III	Pastón IV
Contenido de Cemento [Kg/m ³]	370	370	450	450
Utilización de arena volcánica	no	si	no	si
Densidad en estado fresco [Kg/m ³]	1735	1685	1763	1800
Densidad en estado seco [Kg/m ³] a la edad de 28 días	1709	1650	1749	1792
Resistencia a la Compresión [MPa] a la edad de 2 días	27,6	28,4	33,8	36,8
a la edad de 7 días	36,5	36,9	37,8	45,4
a la edad de 28 días	37,2	39,1	40,3	42,3
a la edad de 90 días	38,2	40,9	38,6	47,6
Módulo de elasticidad [GPa] a la edad de 28 días	14,5	14,2	15,4	14,2
a la edad de 90 días	17,5	-	15,9	16,4
Cambio de largo [%] a 180 días	-0,035	-0,019	-0,036	-0,014
a 270 días	-0,040	-0,017	-0,038	-0,020
a 360 días	-0,038	-0,035	-0,048	-0,025
Permeabilidad al aire [1x10 ⁻¹⁶ m ²]	-	-	0,03 ⁽¹⁾	0,04 ⁽¹⁾
Capacidad Succión capilar (g/m ²)	-	-	1057	797
Velocidad Succión capilar (g/m ² /s ^{1/2})	-	-	3,64	2,91

Tabla 1. Propiedades del HLAP. Asentamiento en conos de Abrams entre 18 y 21cm. (1) Medida con permea-bilímetro de Torrent. Corresponde a un índice de calidad bueno según calificación cualitativa Torrent (escala completa muy malo, malo, normal, bueno, muy bueno)

Las aberturas exteriores son de aluminio blanco, línea pesada, con doble vidrio con 2 cm de cámara de aire, mosquitero, cortina de enrollar y reja opcional, de alta hermeticidad. El mosquitero impide el ingreso de insectos y el diseño de aberturas permite un control del flujo de aire.

La infraestructura consta de un panel sanitario con revestimiento en aluminio, acero inoxidable o cristal (a elección) que contiene los conductos accesibles y las instalaciones de electricidad y gas, normales en una casa habitación de este tipo. El baño tiene provisión de agua fría y caliente y dimensiones que permiten su uso por personas con posibilidades físicas disminuidas. Se ha tomado la precaución de que los recorridos de conductos sean mínimos y además estén pre-ensamblados y comprobados en fábrica, para evitar idas y regresos innecesarios.

La cubierta es doble, constituida por un cielorraso de paneles aislantes y en la parte superior chapas o tejas (según la elección del propietario) con pendiente a dos o cuatro aguas, con opciones de techo verde o común. Sobre dicha cubierta se ubicarán los colectores solares, para calentamiento de agua sanitaria y/o para calefacción y paneles fotovoltaicos para suministro de energía eléctrica (Figura 1.Derecha).

Se prevén tres ductos (de veinte metros) geotérmicos de climatización del aire ingresante, con las características que se detallan en la Figura 3. Una bomba de extracción de agua fotovoltaica permite aportar suficiente agua para el consumo doméstico y un pequeño aporte extra (para riego, animales, etc).

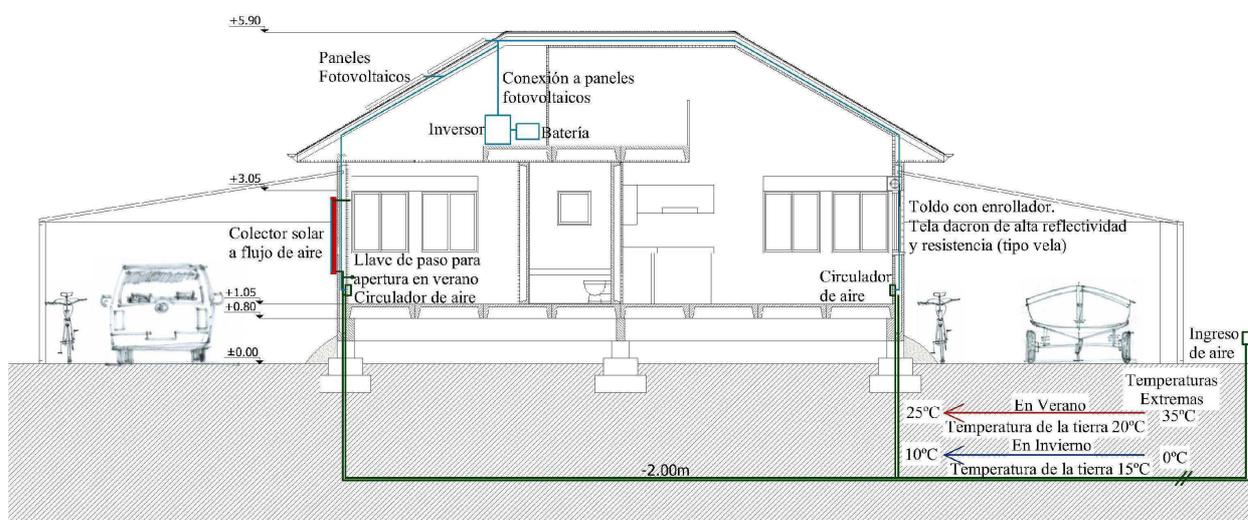


Figura 3. Sección de la vivienda detallando el sistema de climatización por ductos geotérmicos y colector solar a flujo de aire, con circuladores de aire alimentados por el sistema fotovoltaico.

En el exterior se ubican toldos a ambos lados de la vivienda (Figura 3) con enrolladores para control solar, en telas de alta reflectividad solar y de protección contra lluvias, granizo e inclemencias meteorológicas. Además, cumplen la función de atemperar el flujo de calor en primavera-verano y permitirlo en otoño-invierno, retrayendo dichos toldos.

La energía eléctrica para iluminación y alimentación de dispositivos eléctricos/electrónicos diversos (audio-visuales, de refrigeración, información, etc) es aportada en base a matriz solar, con independencia del sistema general de red de línea (Ver detalles en ítem Solar fotovoltaica).

Los acabados interiores de los paneles están revestidos en plástico semimate u otras alternativas textiles de fibras naturales. Las aberturas interiores son de aluminio con cierre hermético y herrajes de primera calidad. El acabado exterior de las paredes se realiza dándole a cada placa de H LAP un tratamiento especial, que permite que dicha placa tenga una textura particular.

Toda la instalación eléctrica es embutida preensamblada, con las protecciones de fusibles, térmicas y de disyuntores que aconsejan las normas vigentes. Los techos tienen un voladizo a manera de alero, que cubre las paredes y ventanas del asoleamiento de verano y la lluvia. Las paredes terminadas constan de su correspondiente paramento exterior de hormigón texturado, coloreado o normal de acuerdo a pedido y de paneles térmicos en su parte interior, asegurando una elevada protección térmica, hermeticidad a la humedad y antisísmica con solidez estructural de acuerdo a ensayos solicitados a entidades oficiales.

La casa se produce de manera industrial, respetando normas térmicas (IRAM 11564; 11601; 11603; 11605; entre otras). Su montaje se realiza con ayuda de una pequeña grúa y una cuadrilla de operarios de reducido número, pudiendo montarse en muy breve tiempo. Las terminaciones son de mejor calidad que las construcciones habituales en viviendas de esta categoría. El uso de elementos que protegen del sol y la lluvia, aseguran aislación a la intemperie, y una larga vida útil con reducido mantenimiento.

La celeridad de montaje reduce daños al medio ambiente y los materiales son producidos en zona cercana, reduciendo transporte y contaminación. Otra característica básica de la vivienda es la sequedad de sus muros, techos y pisos, lo que impide el cultivo de microorganismos como el moho, reduciendo el riesgo de afecciones pulmonares y dermatológicas y preservando los materiales (ver por ejemplo: EPA/ Indoor Environments Division www.epa.gov/mold; WHO (2009)).

La elevación de la casa permite un rápido escurrimiento y el piso elevado es garantía contra crecientes extraordinarias o lluvias torrenciales. Una canaleta perimetral permite recoger agua de lluvia y un tanque semi-enterrado, almacenarla. Además, al estar construida en fábrica, se minimiza la producción de polvo o la suciedad habitual de obra. La vida útil de esta vivienda, se estima en cinco o más décadas, siendo posible renovar fácilmente paneles o modificar el diseño.

EMPLEO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Se consideran para aportar energía, las siguientes fuentes renovables (IPCC/SRREN, 2011).

- *Solar térmica*

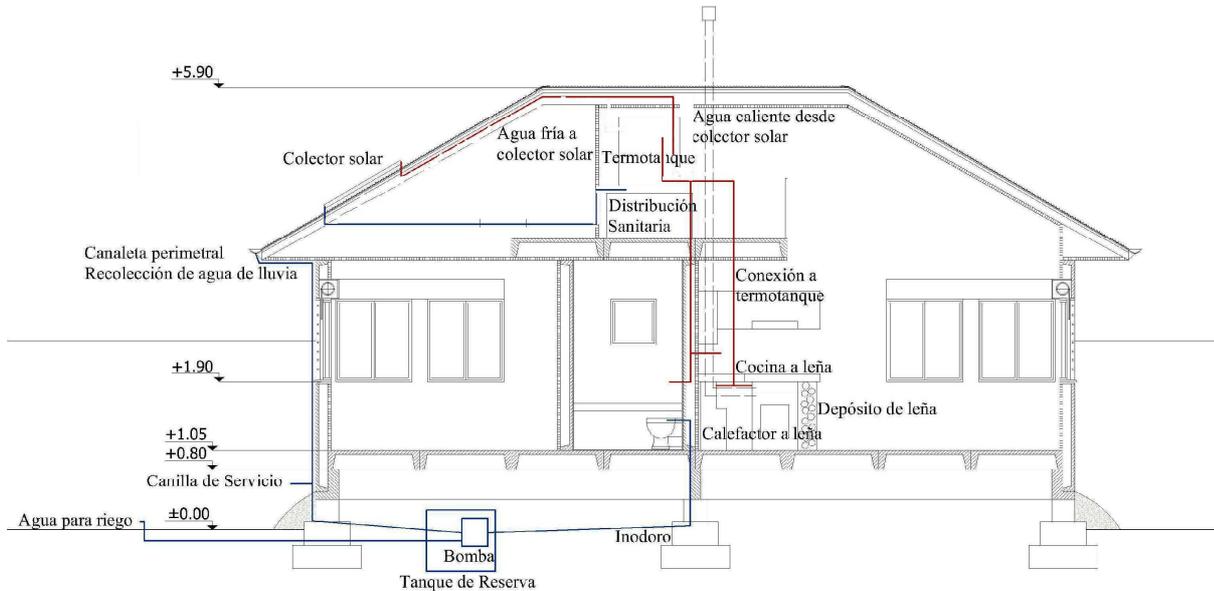


Figura 4. Sección de la vivienda detallando sistema de agua sanitaria calefaccionada y captación y acumulación de agua de lluvia.

La vivienda está diseñada con aporte de energía solar térmica para calefacción de agua sanitaria. Se emplean colectores a flujo de agua, de eficiencia promedio del 45%, con una superficie de captación de 4 m² lo cual permite calefaccionar agua sanitaria para un consumo estimado de 280 litros por día (a razón de 70 litros por persona, considerando 4 usuarios). En días en los cuales no sea suficiente la intensidad de radiación solar (por cubierta nubosa), para calefaccionar el agua se empleará calefactor a leña (ver ítem correspondiente). Se proponen colectores solares a flujo de aire (4 m² con eficiencia promedio de un 40%), ubicados en plano vertical Norte, para pre-caleentar el aire que ingresa en otoño-invierno en la vivienda. Haciendo una estimación de 1000 ml de agua de lluvia anuales, podemos inferir que el aporte al sistema de agua fría llegará a abastecer entre un 20% al 30% para una familia tipo.

- *Solar fotovoltaica*

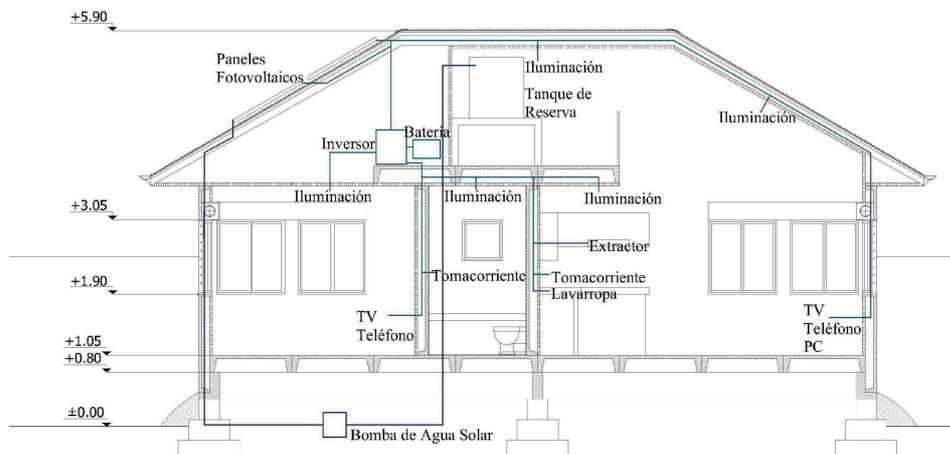


Figura 5. Sección de la vivienda detallando sistema fotovoltaico y distintos equipos eléctricos/electrónicos.

Para el diseño del sistema fotovoltaico, consideramos los siguientes consumos de los equipos eléctricos (según la Tabla del ENRE en [http://www.enre.gov.ar/web/web.nsf/Files/consumos.pdf/\\$FILE/consumos.pdf](http://www.enre.gov.ar/web/web.nsf/Files/consumos.pdf/$FILE/consumos.pdf) y otras fuentes): a) Iluminación (fluorescentes de bajo consumo y LEDs): 60 W; b) Sistemas audio-visuales (minicomponente con radio y TV): 110 W; c) Computación (Notebook + tablet): 60 W, 4 ventiladores de techo y circuladores de aire 180 W, heladera pequeña con freezer: 200 W, bomba de agua sumergible: 100 W (500 litros de agua/hora), lo que da una potencia total de 710 W. Considerando horas promedio razonables para cada equipo de consumo diario, se llega un total de unos: 2,44 KWh/día.

La disponibilidad de insolación en Rosario y zonas aledañas que incluyen las islas del Paraná, basada en datos de NASA de un promedio de 22 años aportados por más de 200 satélites (disponible en *Surface Meteorology and Solar Energy web page*: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>) es en promedio anual, a un ángulo de elevación de 32° (cercano al óptimo de 29,1°), de 5,07 KWh/(m²día). Si se emplean módulos Solartec, con paneles policristalinos Kyocera de eficiencia 14% (<http://www.solartec.com.ar/pdf/SOLARTEC-KS65T-v11.pdf>), serán necesario 14 paneles denominados KS65T de 65Wp y dimensiones de: 148 cm x 34,3 cm x 3,6 cm. El regulador es el Solartec SC40 y las baterías de uso solar con electrolito sin mantenimiento (tipo Moura clean 12MC220), pueden ser especiales o comunes.

- *Tubos geotérmicos*

Con el objetivo de climatizar el aire ingresante a la vivienda, aumentando su temperatura en los meses invernales y disminuyéndola en los meses estivales, se ubican en el subsuelo debajo de la vivienda y en parte del terreno circundante tubos geotérmicos (Figura 3) que tienen una disposición tipo peine de tres tubos de 20 metros de largo cada uno. Estas dimensiones son las que se consideran usualmente para una región como la de Rosario que tiene una temperatura de aire de promedio anual de unos 17 °C lo que determina una temperatura subsuperficial a unos cinco o más metros de profundidad de prácticamente el mismo valor (17,5 °C). En consecuencia, instalando los ductos a una profundidad de unos dos metros, la temperatura del suelo circundante oscilará entre 20 °C en verano y 15 °C en invierno, determinando una disminución de unos diez grados del máximo de 35 °C a 25 °C y un incremento del mismo valor para el mínimo (de 0 °C a 10 °C)

A diferencia de la vivienda solar pasiva que deja ingresar la radiación solar en su interior y por consiguiente debe poseer una alta inercia térmica dentro de la misma, en la presente propuesta, el aire es acondicionado *antes de ingresar*, ya que en la región donde se propone instalar dicha vivienda, -en una primera etapa la Pampa Húmeda Argentina, se ha determinado en trabajos previos del Grupo (Levit et al.(1989); Sepiarsky et al. (1993); Levit y Piacentini (1993)), que es posible obtener un incremento en invierno y una disminución en verano de entre 5°C y 10°C. Además, se propone un colector solar a flujo de aire, para aumentar algo la temperatura del aire invernal ingresante, ya que si bien la media de Julio en la región es de unos 10 °C y sería suficiente en promedio el aumento, las mínimas rondan 0 °C. Por ende, es necesario un mayor incremento de temperatura.

Estimando que el sistema de tubos enterrados, compuesto de 3 tubos de 15 m (efectivos, correspondiente al sector más profundo, sin contar las partes verticales) cada uno, tiene asociado un radio de suelo de 2 m, lo que corresponde a un volumen de suelo de unos 190 m³ (=15 m x 3.1416 x 2² m²) y considerando la densidad media del suelo de la región, se tienen más de 200 toneladas de masa térmica, lo que representa al menos un orden de magnitud de la masa térmica que puede tenerse en una vivienda típica, aislada en su parte exterior o intermedia.

- *Biomasa*

La vivienda emplea energía de Biomasa (leña y otros vegetales secos) como aporte complementario para calefacción de agua sanitaria y climatización ambiental, cuando la energía solar no sea suficiente debido a cubierta nubosa. Las maderas usuales en la zona son: sauce, eucalipto o pino y tienen un valor calórico de unos 4500-5000 Kcal/Kg, por lo que estimando un consumo diario de unos 8 Kg de leña, en definitiva, se producen 15,9 MJ de energía.

En relación a la emisión de CO₂ a la atmósfera, según el Dr. Pablo Canziani, ex co-presidente del Working Group III del IPCC “Habida cuenta que, si se produce biomasa de manera sustentable, su producción y uso no genera un aumento del dióxido de carbono en la atmósfera, simplemente porque el dióxido liberado en la combustión es compensado por los procesos de fotosíntesis que se producen en los plantares con los que se producen leña y residuos para la combustión. De allí que los escenarios energéticos del IPCC consideren al uso de la biomasa como elemento de importancia en las acciones orientadas a mitigar las emisiones de dióxido de carbono”.

EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

• *Determinación de la aislación de la vivienda*

Se presentan seis alternativas a la construcción tradicional de mampostería de 0,15 m, con aberturas de vidrio simple, denominada Caso base, según se muestra en Tabla 2.



Tabla 2. Cuadro comparativo de Consumo energético de vivienda convencional (caso base) y de la vivienda investigada, considerando diferentes alternativas de aislación de la envolvente.

Para el análisis energético de las alternativas, se utilizó el software RETScreen V4.1 (Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia, <http://www.retscreen.net/>).

Los resultados han sido obtenidos en relación al ahorro de energía en cuanto a consumos nominales y porcentaje de reducción frente al denominado *caso base*.

Para el cálculo de la eficiencia energética se consideran las siguientes estimaciones:

1. Refrigeración: Aire acondicionado, con suministro de energía eléctrica. Rendimiento estacional: 55%.
2. Calefacción: Calefactores tiro natural de gas natural. Rendimiento estacional: 70%.
3. Transmitancia térmica (K_{puerta}): 3,50 W/m².K. Referencia: Extruidos de Aluminio S.A. (EXTRUAL) Puerta 25/70 RPT (<http://www.extrual.com/cte/tablas/>).
4. Transmitancia térmica del vidrio doble, calidad certificada VASA. $K_v = 3,20$ W/m².K y Transmitancia térmica del vidrio simple $K_v = 5,80$ W/m².K (ver por ejemplo Norma IRAM 11507-4: 2010 "Carpintería de obra y fachadas integrales livianas"; Anexo A).
5. Tasa de cambio de aire: 2,00 ca/h. Para las opciones con vidrio doble (certificación VASA) se considera una renovación de aire igual a 1,5 ca/h.
6. Ktecho (verano, correspondiente a caso base y alternativa 1): 1,23 W/m².K; consistente en recubrimiento de chapa + aislante térmico + membrana hidrófuga + entablonado + ático + ciellorraso.
7. Se consideraron las resistencias térmicas de las películas superficiales de aire: interior ($R_{int} = 0,018$ m²°C/W) y exterior ($R_{ext} = 0,107$ m²°C/W). Según Software RETScreen "Propiedades de cobertura de edificios" para el cálculo de la transmitancia térmica de la envolvente opaca con paneles aislantes tipo Arneg.
8. Se considera una vereda perimetral de cemento alisado en derredor del prototipo presentado.
9. Los cálculos del balance térmico de la vivienda para establecer su consumo, se han efectuado en estado estacionario, según las consideraciones del software RETScreen, el cual es empleado a nivel internacional por cerca de 249 mil usuarios y cientos de universidades (ver <http://www.retscreen.net/es/home.php>). En el futuro, se realizará un análisis dinámico más detallado.
10. Se consideraron como valores de diseño: Temperatura-calefacción ambiental (°C): 25,0; Temperatura-aire acondicionado (°C): 20,0; Temperatura-vivienda desocupada (°C): 2,0; Temperatura de cambio calentamiento/enfriamiento (°C): 16,0; Duración de temporada de calefacción: 124 días; Duración de la temporada de acondicionamiento de aire: 241 días.
11. Valores climáticos promedios anuales (fuente: NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set website at: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen>): Temperatura del aire: 17,5 °C; Humedad relativa: 74,1%; Radiación Solar diaria-horizontal (insolación): 4,63 KWh/m²/d; Presión atmosférica: 101,1 KPa; Velocidad del viento: 3,70 m/s; Temperatura del suelo: 18,9 °C; Grados-día de calentamiento: 879 °C-d; Grados-día de enfriamiento: 2746 °C-d.

De acuerdo a la corrida del algoritmo, en la Figura 6 presentamos el consumo energético, observándose una tendencia decreciente de dicho consumo de energía para cada alternativa que incorpora aislación, excepto el Caso 2 respecto del Caso 1 (por considerar ladrillo común de 30 cm del Caso 2 en lugar de ladrillo hueco de 20 cm del Caso 1) y el Caso 5 respecto del caso vecino anterior 4 (por considerar vidrio simple del Caso 5 en lugar de vidrio doble del Caso 4, a pesar del aumento en la aislación de paredes). En consecuencia, podemos observar que el simple reemplazo de vidrio simple por doble, mejora en cierta proporción la aislación total y por consiguiente también reduce el consumo energético.

En la Figura 7 observamos el aumento del ahorro logrado a medida que avanzamos en la serie de las alternativas propuestas, con respecto al caso base, con la salvedad de la pequeña disminución de los casos 2 y 5, respecto de los casos anteriores 1 y 4, respectivamente, tal como indicamos anteriormente.

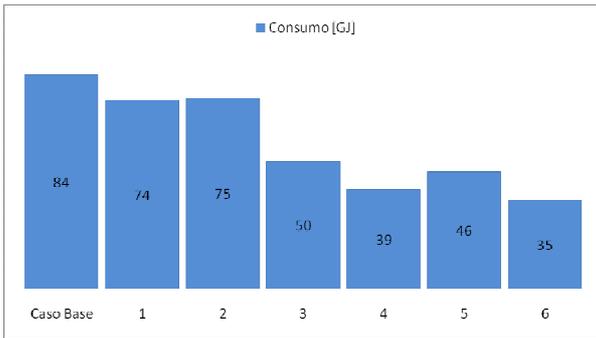


Figura 6: Consumo energético de las diferentes alternativas propuestas [GJ].

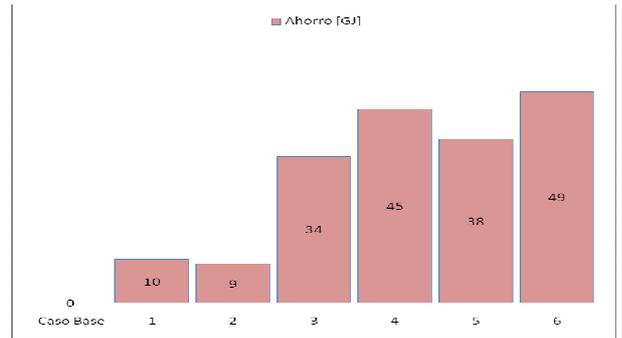


Figura 7: Ahorro energético de las diferentes alternativas propuestas [GJ].

En la Figura 8 presentamos el porcentaje ahorrado de energía en referencia al Caso base, para cada una de las alternativas evaluadas. Observamos un gran aumento del ahorro energético, a partir de la incorporación de aislación térmica externa de espuma de poliuretano (Caso 3). Además, el incremento de la aislación por la incorporación del vidrio doble respecto del simple, es de 32,34% en el Caso 4 respecto del Caso 3, siendo en el Caso 6 respecto del Caso 5 de 28,94 %. En cuanto al ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en toneladas de anhídrido carbónico [tCO₂], presentamos en la Figura 9 el porcentaje de emisiones ahorrado de cada alternativa frente al Caso base.



Figura 8: Porcentaje de ahorro de energía para las diferentes alternativas propuestas, respecto del Caso base.

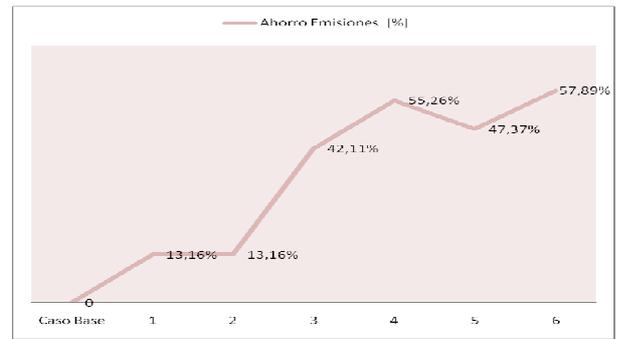


Figura 9: Porcentaje de ahorro de GEI para las diferentes alternativas propuestas, respecto del Caso base.

Es posible verificar que el ahorro es también significativo, aún considerando como Caso de referencia el caso 2 (ladrillo de 30 cm y vidrio simple), según la Figura 10 para ahorro energético y 11 para reducción de emisiones de GEI.

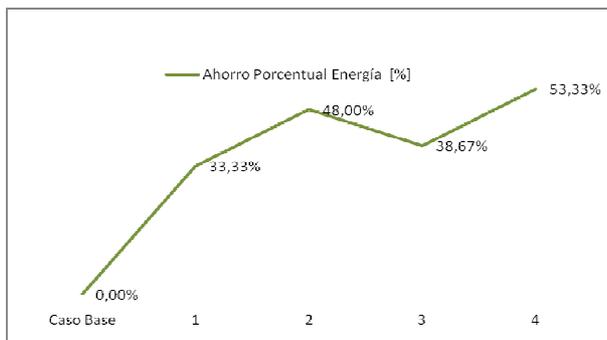


Figura 10: Porcentaje de ahorro de energía para las diferentes alternativas propuestas, respecto del caso de referencia 2

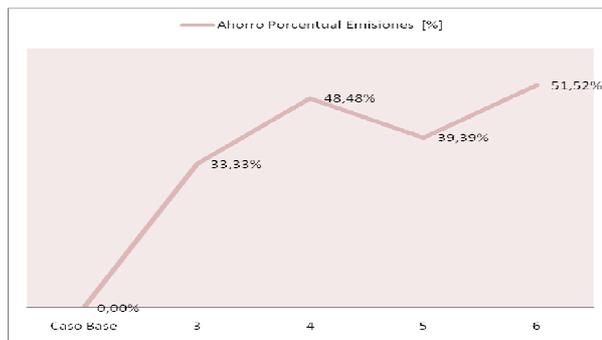


Figura 11: Porcentaje de ahorro de GEI, para las diferentes alternativas propuestas, respecto del caso de referencia 2.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo hemos desarrollado un proyecto de vivienda, para ser instalada en primera instancia en la zona de Rosario y su región, que incluye las islas del delta del Paraná, aunque puede ser ubicada en cualquier otra posición geográfica realizando las adaptaciones y cálculos correspondientes. Posee las siguientes características: es *carbono neutra* (en el sentido que genera toda la energía que consume, para climatización, calentamiento de agua, iluminación y bombeo de agua, empleando fuentes de energías renovables, esencialmente solar o bien compensa el excedente, por ejemplo, plantando árboles que absorban el CO₂ que emita la vivienda). Además emplea *tubos geotérmicos* para climatizar el aire ingresante y su envolvente está diseñada con *alta aislación*. Su diseño permite que la ejecución de la obra se realice en tiempo muy reducido respecto de las viviendas convencionales.

En relación a la aislación de la vivienda, podemos inferir que las distintas alternativas con paredes de hormigón alivianado, combinadas con poliuretano, ofrecen una importante reducción de energía, desde 40,48 % para el Caso 3 (Ver Tabla 2) (agregando aislación de poliuretano de 40 mm en las paredes y considerando vidrio simple) hasta 58,33 %, para el Caso 6 (considerando poliuretano de 60 mm y vidrio doble). Esto frente a la construcción tradicional de mampostería de ladrillo de 0,15 m y vidrio simple. En consecuencia, el aumento de eficiencia entre ambos casos es de: $58,33 - 40,48 = 17,85$ puntos o expresado en porcentajes de incremento: $(58,33 - 40,48) / 40,48 = 44,22\%$

Es de señalar que aún considerando como referencia el Caso 2 (construcción con ladrillo de 30 cm y vidrio simple), respecto del Caso 6 se obtiene igualmente un gran ahorro de energía, de $58,33 - 10,71 = 47,62$ puntos (respecto de 58,33 si la referencia es el Caso base). Los Casos base, 1 y 2 presentan poco ahorro energético y también menor confort interior por necesidad de mayor climatización artificial.

También hemos obtenido resultados (Figura 9) que muestran importantes porcentajes de reducción de gases de efecto invernadero para los Casos 3 a 6, desde un modesto 13,16 para el Caso 1 (desaconsejado) llegando a valores del 57,89 % para la alternativa más aislante. En forma similar, el mayor ahorro de emisión de GEI es de 51,52%, si se considera el caso 2 como referencia. Deseamos señalar que este análisis tendrá cada vez más impacto, por la aceleración que se está notando en el calentamiento global del planeta, debido al incremento de los gases contaminantes de efecto invernadero (IPCC/WG1 (2007)). En el nuevo tratado que reemplaza al actual de Kyoto, diferentes países del mundo están proponiendo que estudios de este tipo relativos a eficiencia energética en las construcciones y las medidas asociadas de reducción de emisión de gases contaminantes de efecto invernadero, sean obligatorias para todos los países.

Destacamos que los ahorros monetarios que se pueden lograr, incorporando las soluciones propuestas en los Casos 3 a 6, serán cada vez mayores, en la medida que el precio de la energía deje de ser subsidiada y además se vayan agotando (y eliminando por ser contaminantes) las fuentes de energía fósil.

En conclusión, el presente proyecto está orientado a que la vivienda pueda desempeñarse independientemente de la línea de alimentación eléctrica y del suministro de gas, empleando energías renovables en su reemplazo (IPCC/SREEN (2011)). Además, sea de alta eficiencia energética y carbono neutra, en el sentido de que no emitirá CO₂ a la atmósfera (en balance neto) (por ejemplo, plantando árboles que absorban el CO₂ que emite la vivienda, ver por ejemplo: Center for Urban Forest Research: <http://www.fs.fed.us/ccrc/topics/urban-forests/ctcc/> y Greenfleet Australia: <https://secure.greenfleet.com.au/treetotaller/treetotaller.htm>). Por supuesto, otras opciones menos exigentes (que empleen energía eléctrica convencional y gas) son posibles igualmente, aún con una gran reducción del consumo energético.

Tal como se mencionó en la INTRODUCCIÓN, la vivienda presentada en este trabajo, tiene la particularidad de ser de muy alta aislación. Por consiguiente, es de importancia contar con un sistema de tubos enterrados para atemperar las altas fluctuaciones de la temperatura del aire ingresante. En el caso de no poder contarse con esta posibilidad (por falta de espacio en el entorno de la vivienda, etc), deberá prestarse particular atención en incrementar en la medida de lo posible la inercia

térmica existente en dicha vivienda, por ejemplo, con muebles adaptados a estas funciones y contar con un eficiente sistema de climatización artificial (aire acondicionado, estufas a gas), los cuales han sido considerados en los puntos 1 y 2 del ítem EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Director de IMAE/FCEIA/UNR, Ing J Adué, por su apoyo para el desarrollo del Laboratorio de Eficiencia Energética, Sustentabilidad y Cambio Climático (LESyC), a la UNRosario y a CONICET.

REFERENCIAS

- Czajkowski J, Gómez A y Bianciotto M. (2008). Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, art. 12, 5.5.
- Dalene F. (2012) Technology and information management for low-carbon building. *J. Renewable Sustainable Energy* 4, 041402, (doi: 10.1063/1.3694120).
- Di Bernardo E, Gaspar R y Piacentini R. (1978). Experiments on a solar house in humid-temperate climate. *Proceedings 18th International Conference COMPLES*, 2, 12.
- Di Bernardo E, Gaspar R y Piacentini R. (1979). Estudio comparativo de la vivienda Sol 55 durante dos periodos invernales. *Actas 5ta. Reunión ASADES*, 2, 283.
- IPCC/WGI (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I: The physical science basis. Cambridge University Press (también disponible vía internet en: www.ipcc.ch).
- Filippín C, Lesino G y Beascochea A. (2001). Comportamiento térmico y energético de viviendas solares para estudiantes de escasos recursos en La Pampa. *Revista Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)/ASADES*, 9, art 142.
- Filippín C y Beascochea A. (2004). Edificios solares construidos, monitoreados y auditados en la región central de Argentina. *Revista Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)/ASADES*, 14, art 95.
- Filippín C., Flores Larsen S. (2010). Comportamiento térmico de verano de viviendas unifamiliares compactas en condiciones reales de uso en clima templado en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 14, art 5.1, (ISSN 0329-5184).
- IPCC/SRREN (2011). Intergovernmental Panel on Climate Change/ Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (www.ipcc.ch).
- Lazarus N. (2003). Toolkit for carbon neutral developments. BioRegional Development Group, London.
- Levit H, Gaspar R y Piacentini R. (1989). Simulation of greenhouse microclimate produced by earth tube heat exchangers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 17, 31.
- Levit H y Piacentini R. (1993). Greenhouse heating by the simultaneous use of thermal screen and underground pipes. *Acta Horticulturae*, 357, 135.
- Pérez-Lombard L, Ortiz J y Pout C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.
- Piacentini R, Eliçabe Urriol J y Torralba C. (1992). Infrared thermometry measurements of the inner surfaces of buildings heated by solar radiation through direct gain. *Proceedings Workshop on Materials Science and Physics of Non-Conventional Energy Sources*, Buenos Aires.
- Piacentini R y Sepiarsky M. (1994). Estudio de la vivienda solar Florida norte (Rosario, Argentina) en periodo estival. *Actas de ASADES*, 1, 93.
- San Juan G, Discoli C, Viegas G, Ferreyro C y Rodríguez L. (2010). Proyecto de viviendas bioclimáticas de interés social. Tapalqué, Provincia de Buenos Aires, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)* 14, art. 5.11.
- Sepiarsky M, Levit H, Lara M y Piacentini R. (1993). Semiburried greenhouses dynamic simulation of the processes of heat and mass transfer. *Acta Horticulturae*, 357, 335.
- Sosa M y Mitch J. (2009). Propuesta de diseño de un conjunto de viviendas sociales bioclimáticas en el medio rural del Valle de Uco, Provincia de Mendoza, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)* 13, art. 5.20.
- WHO (2009). (World Health Organization). WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould (PDF). World Health Organization, http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf.

ABSTRACT:

We present a home designed to be built in series, to have the possibility to be lived in a short term. To achieve high thermal and structural resistance, High Performance Lightweight Concrete (HPLC) and insulating plate made of polyurethane with envelope of steel sheets are used in the walls, ceiling with high insulation and double glazing in the windows. Water tanks are located inside, contributing to the thermal inertia. Hot water is heated with solar collectors on the roof and tempered air travels through underground pipes, that take advantage of the thermal inertia of soil. Since one of its applications is in places away from power lines, it has the possibility of incorporating a solar photovoltaic system. A highlight is the low emission of greenhouse gas CO₂ (analyzed with RETScreen V 4.1) for the conventional low power consumption and can become *carbon neutral*, if only renewable energy sources are used or the emissions are offset.

Keywords: home, high technology, high insulation, solar thermal energy, solar photovoltaic energy, carbon neutral.