

VIVIENDA URBANA SUSTENTABLE CON ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PLATA, ARGENTINA.

Jorge Daniel Czajkowski (1); Cecilia Corredera (2)

Cátedra Instalaciones N° 2, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. CONICET. Calle 47 N° 162 (1900) La Plata, Argentina. Tel: +54 221 4236589/90 int 255.

(1) Investigador Adjunto CONICET. Email: czajko@ing.unlp.edu.ar

(2) Becario Doctoral CONICET. Email: cecicorredera@yahoo.com.ar

RESUMEN

Estudios previos muestran que casi la totalidad de las viviendas construidas en el Área Metropolitana de Buenos Aires son ineficientes en lo energético e insustentables. Dada la carencia de legislaciones que obliguen a usuarios y profesionales a construir viviendas sustentables solo pueden esperarse actitudes individuales. En el trabajo se expone el caso de una vivienda urbana para una familia de clase media alta en la Ciudad de La Plata que exigió a sus arquitectos el uso de medidas de diseño sustentable. Se muestra la tecnología empleada, el uso de energías renovables, el impacto en su ciclo de vida respecto de emisiones de gases de efecto invernadero. Se muestran imágenes de la vivienda terminada.

ABSTRACT

Previous studies show that almost the totality of the houses constructed in the Metropolitan Area of Buenos Aires are not energy efficient and not sustainable. Given the deficiency of legislations that force to users and professionals to construct sustainable houses single individual attitudes can be expected. In this work the case of an urban house for a family of high middle-class in La Plata city is exposed that demanded to its architects the use of measures of sustainable design. Are implement alternative technology, renewable energies, cycle of life end estimate de emition of green houses gas. Are present images of the finished house.

Palabras Clave: eficiencia energética, casa sustentable, bioclimatismo, ahorro energía, aislamiento.

1. INTRODUCCIÓN

La vivienda se localiza en el casco urbano de La Plata (lat: -35,55° long: 57,56°) a orillas del Río de La Plata sobre la margen occidental. El clima está clasificado según normas argentinas como templado cálido húmedo - subzona IIIb. El comportamiento respecto del confort higrotérmico puede verse en la figura 1.

Del análisis de los datos climáticos, surge que posee veranos suaves ($t_{\text{máxmed}} = 28,5^{\circ}\text{C}$) e inviernos poco rigurosos ($t_{\text{mínmed}} = 6,7^{\circ}\text{C}$) con alta humedad ambiente ($HR = 71$ y 86%) y vientos predominantes desde el NE a SE. La temperatura de diseño máxima para el verano es $34,5^{\circ}\text{C}$ y la mínima de invierno $2,4^{\circ}\text{C}$. El 71% de los días de un año estadístico las temperaturas medias se encuentran por debajo del nivel de confort. Esto implica garantizar el acceso al sol en los ambientes principales y prever un adecuado nivel de aislamiento térmico. Solamente durante el 16% de los días del año las temperaturas máximas superan el confort aunque con temperaturas medias dentro del confort. Según el climograma de Givoni deberá preverse sombreado adecuado, posibilidad de ventilación nocturna y mínima ventilación diurna, inercia térmica y aislamiento térmico, principalmente en techos.

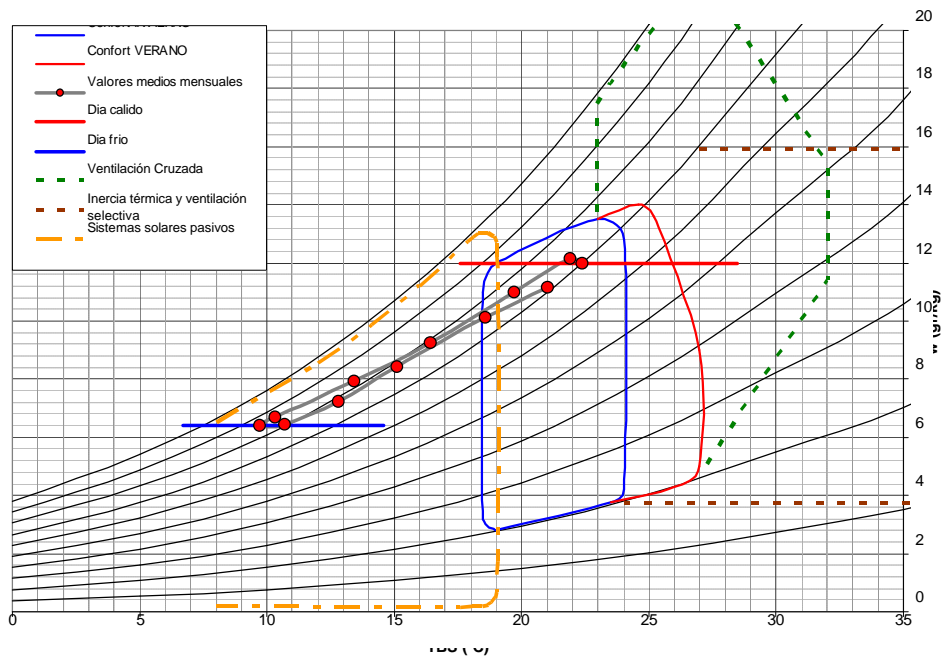


Figura 1: Características bioclimáticas de La Plata, Buenos Aires, Argentina a partir de datos medios de temperatura y humedad e indicando los días típicamente cálidos y fríos sobre modelo de B. Givoni. Construido con el programa Psiconf 1.0 (Czajkowski J, 2006).

El trabajo trata sobre una vivienda encargada a un estudio de arquitectura convencional por un matrimonio de profesionales, y profesores universitarios, donde estos exigen que su nueva casa tenga cierto grado de sustentabilidad. Dado que al momento de la consulta el proyecto se encontraba en un estado avanzado y se estaban construyendo la platea de cimientos, el grado de recomendaciones se restringió a lo posible. Se aceptaron prácticamente todas las recomendaciones referidas a cuestiones relacionadas con sistemas constructivos, ventanas, iluminación eficiente, sistema fotovoltaico y agua caliente solar; pero no protecciones solares adecuadas y estrategias de ventilación nocturna.



Figura 2: Vista exterior de la casa terminada. (noroeste)



Figura 3: Vistas desde el patio interior. *Izquierda:* bloque de la cocina y estar en planta baja y dormitorio, baño y estudio en planta alta. *Derecha:* patio interior desde veranda.

En este contexto se expone una evaluación de la eficiencia energética de la vivienda, en el contexto del parque habitacional de la región, mejoras en sistemas constructivos.

2. INSTRUMENTOS Y METODOS

Se recibió de los arquitectos la documentación de proyecto sobre la que se realizó un análisis energético a fin de determinar niveles de aislamiento térmico en los diversos tipos de muros y techos que posee la vivienda. Mediante el *ErgoCAD* (Czajkowski, 1999), se simuló el comportamiento energético anual para varios escenarios que se exponen. Uno a partir del proyecto original y otro sugerido, que fue aceptado sin mayores discusiones.

La vivienda fue habitada en enero de 2006, y pasados doce meses se realizó una auditoría energética y ambiental habiéndose monitoreado una semana el comportamiento estival. El protocolo de mediciones (Czajkowski, 1999 y Rosenfeld, 1999) permite obtener la mayor información posible de los diversos subsistemas energéticos ambientales del caso, con el fin de facilitar su desagregación cuantitativa evitando, en lo posible, estimaciones.

Se utilizaron tres microadquisidores de datos HOB0 H8-004 (exterior, interior planta baja y planta alta), junto a cuatro termohigrómetros digitales (exterior y 3 interiores). Se registran temperaturas, humedad e iluminación. Los Hobo se programaron con un intervalo de cinco minutos.

La propietaria registró las temperaturas y humedades máximas y mínimas entre las 18 y las 23 hs en una planilla. Se compara el consumo de energía real con los calculados mediante los programas *ErgoCAD* y *AuditCAD* (Czajkowski, 1999).

3. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

La vivienda unifamiliar de 186 m² cubiertos, se encuentra sobre un terreno de 12 m x 60 m con una centenaria arboleda existente donde se buscó adecuar la arquitectura al terreno. El partido es tipo U con patio central seco hacia el cual dan todos los locales principales. La planta alta con forma de L se orienta hacia el norte. (Figura 4)

La vivienda cuenta con dos soluciones constructivas de techo. Una compuesta por estructura metálica, chapa de acero galvanizada sobre la que se proyectó apróx 25 mm PUR 30 kg/m³, una cámara de aire, lana de vidrio 50mm 11 kg/m³ con foil aluminio y terminación placa yeso de roca 12 mm. Posee un K= 0,40 W/m².K (Figura 5). Otra compuesta por una losa de H^oA^o con cielorraso aplicado con contrapiso de pendiente y membrana hidráulica. Se implementó un techo invertido con una capa de 80 mm de EPS 30 kg/m³ sobre la membrana hidráulica y una protección superior con una capa de 60 mm de arcilla expandida (K= 0,33 W/m².K). Esto garantiza la protección de la membrana y dilataciones de la losa.

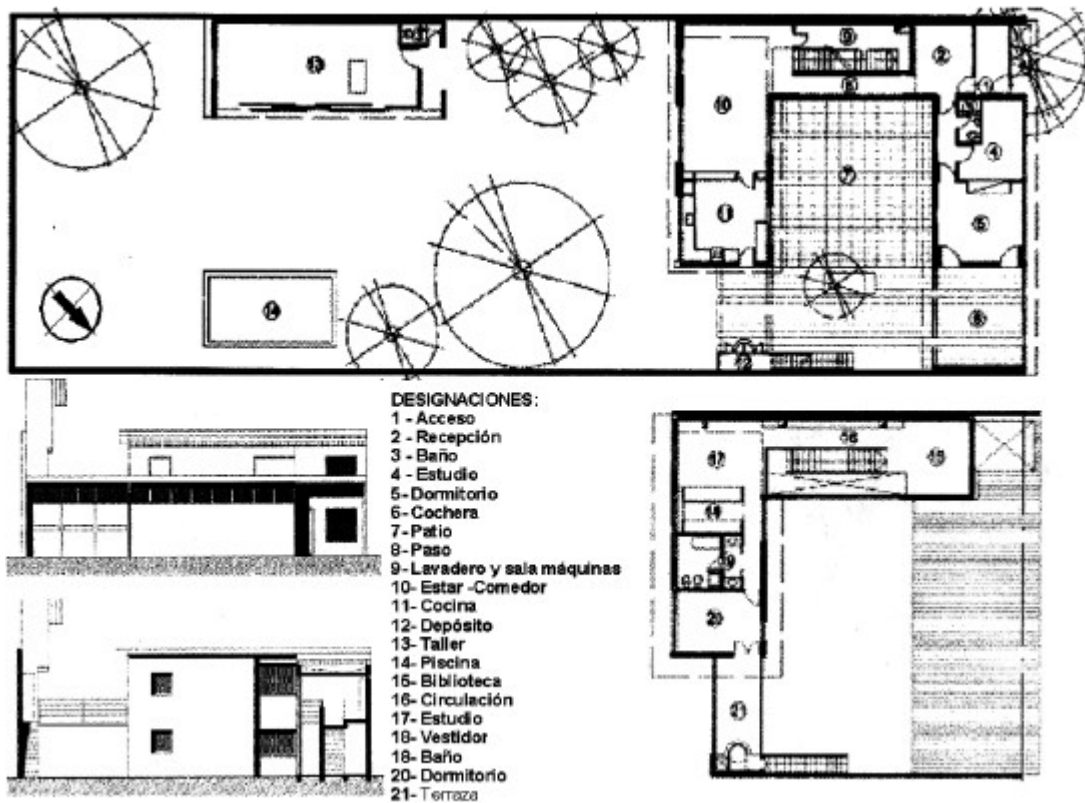


Figura 4: Planta baja y planta alta.



Figura 5: Detalle del encuentro muro techo. 1- poliuretano 25 mm proyectado sobre la chapa de acero galvanizada; 2- poliestireno expandido 50 mm densidad 30kg/m³; 3- doble muro de ladrillos huecos de 80 mm revocado en ambas caras; 4- Lana de vidrio 50 mm con foil aluminio.

Se propuso un sistema de climatización por piso radiante, adecuado para una vivienda en dúplex con dobles alturas y gran continuidad espacial; que funciona a baja temperatura y en verano permite la refrigeración con una máquina enfriadora de agua compacta. También existe la posibilidad de utilizar enfriamiento freático complementario.

Esta solución no se implementó prefiriendo un sistema centralizado pero con unidades terminales compuestas por radiadores de aluminio y zócalos radiantes.

3.1. Análisis demanda en calefacción y ahorro energía

El análisis de la demanda de calefacción se realizó mediante el *EnergocAD* que muestra los siguientes resultados para un escenario sin mejoras térmicas y con las mejoras propuestas.

$$Q_c = G \times \Delta t \times V \quad [\text{Eq. 01}]$$

Donde:

Q_c : Carga térmica calefacción en W

G: Coeficiente global de pérdidas de calor en $[\text{W}/\text{m}^3\text{°C}]$

Δt : Diferencia temperaturas exterior e interior $[\text{°C}]$

V: Volumen a calefaccionar $[\text{m}^3]$

Tabla 1: Resumen de características dimensionales, térmicas y energéticas.

Superficie a climatizar $[\text{m}^2]$	186	Temp exterior diseño $[\text{°C}]$	2,4
Volumen a climatizar $[\text{m}^3]$	486	Temp interior diseño $[\text{°C}]$	20
Sup. Muros $[\text{m}^2]$	222	Δt $[\text{°C}]$	17,6
Sup. Techos $[\text{m}^2]$	111	Coef. G $[\text{W}/\text{m}^3\text{°C}]$	1,26
Sup. Puertas $[\text{m}^2]$	11	Q_c (sin mejoras) $[\text{W}]$	35326
Sup. Vidriados $[\text{m}^2]$	81	Q_c (con mejoras) $[\text{W}]$	14070
K muros $[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$	0,50	. Calefacción (s/m) $[\text{W}/\text{m}^3]$	72,7
K techos 1 $[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$	0,40	Coef. Calefacción (c/m) $[\text{W}/\text{m}^3]$	28,9
K techos 2 $[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$	0,33	Coef. Calefacción (s/m) $[\text{W}/\text{m}^2]$	189,9
K vidriados $[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$	2,86	Coef. Calefacción (c/m) $[\text{W}/\text{m}^2]$	75,6

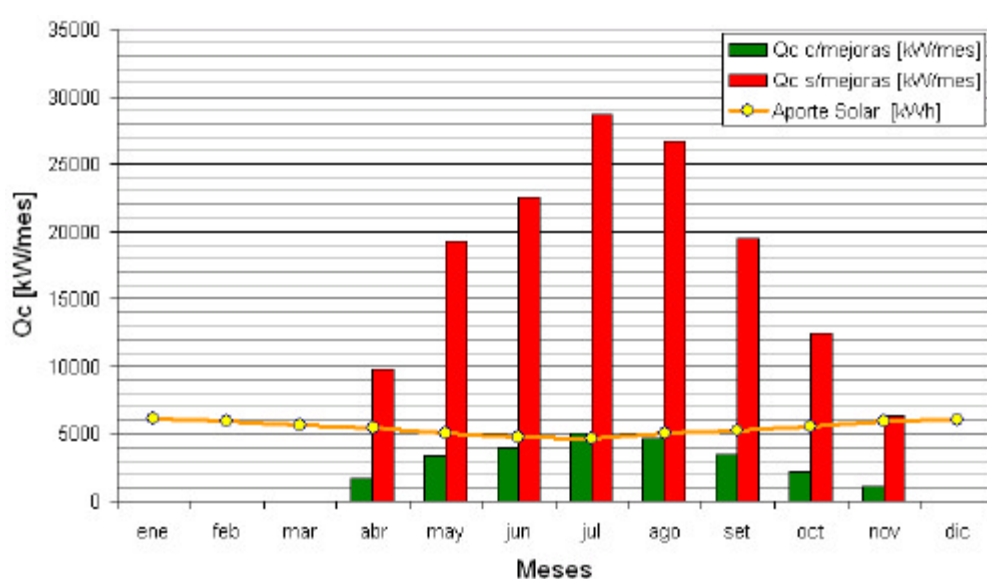


Figura 6: Comparación de la demanda de energía para calefacción del escenario sin mejoras y con las mejoras implementadas.

Las mejoras en la envolvente (techos, muros y vidriados) y la reducción de infiltraciones implican un ahorro neto de energía del 61,2 % en la carga térmica.

3.2. Determinación del gasto anual de gas natural en calefacción

Se determinó el gasto anual de la demanda de energía en calefacción para un sistema compuesto por caldera compacta a gas natural (rendimiento=0,65), distribución del agua caliente con caños de cobre con aislamiento térmico y radiadores de aluminio como unidades terminales. Se compara con el

consumo real de gas natural.

$$CECA = \frac{Q_c \text{ año} \times C_c}{P_c \times \rho} \quad [Eq.02]$$

Donde:

CECA: Costo energía calefacción anual en U\$\$/año

C_c : costo del combustible en U\$\$/kWh; U\$\$/m³; U\$\$/kg.

P_c : poder calorífico del combustible en kW/m³; kW/kg.

ρ : Rendimiento del sistema de calefacción

En la Argentina el costo de la energía a nivel domiciliario hasta el momento se encuentra fijo y a valores muy bajos en dólares. No es la misma situación en el gas envasado (propano-butano) que tiene un valor casi diez veces superior al gas natural y su precio está liberado. En la tabla 2 se muestra un análisis de los cuatro sistemas usuales en el mercado para calefaccionar viviendas. Los rendimientos varían con cada sistema y se adoptaron los coeficientes más recientes para cada sistema calefacción (caldera + distribución + unidades terminales). El comitente decidió usar un sistema centralizado de caldera con radiadores de aluminio que implica un gasto anual calculado de U\$\$ 349 con las mejoras en eficiencia

Tabla 2: Costo anual calefacción y en la vida útil de un edificio (30 años) para varios sistemas calefacción.

Sistema calefacción	Mejoras	Consumo energía		Costo funcionamiento U\$\$				
		Kw/año	Energía eléctrica Anual	Vida útil	Gas natural Anual	Vida útil	Gas envasado Anual	Vida útil
Piso radiante eléctrico ρ=0,97	SM	149732	5587	167610	n/c	n/c	n/c	n/c
	CM	26283	981	29430	n/c	n/c	n/c	n/c
Caldera + suelo radiante PER ρ=0,85	SM	170871	221	6630	1772	53160	14077	422310
	CM	29993	192	5760	313	9390	2471	74130
Caldera + radiadores aluminio ρ=0,76	SM	226938	221	6630	1981	59440	15744	472330
	CM	39835	192	5760	349	10481	2764	82909
Estufas tiro balanceado ρ=0,62	SM	234258	n/c	n/c	2426	72780	19300	579000
	CM	41120	n/c	n/c	426	12780	3388	101640

energética introducidas a la vivienda. Este gasto se habría elevado a U\$\$ 1981 sin las mejoras.

El gasto anual real surgido de una auditoría energética fue de U\$\$ 354, lo que muestra una diferencia de -1,43% con el calculado (sin descontar agua caliente sanitaria y cocción para una temperatura confort interior 20°C).

El ahorro a lo largo de una vida útil estimada de 30 años sería de U\$\$ 48959 y la inversión se amortiza en 3,6 años.

3.3. Comparación con las viviendas de la región

En la región metropolitana de Buenos Aires y en particular en el Gran La Plata la eficiencia energética de las viviendas es baja tal como se ve en la Figura 7 donde prácticamente la totalidad de la muestra de casos auditados no cumple con la normativa vigente sobre eficiencia energética en calefacción (Czajkowski, et al 2003).

Se indica la eficiencia energética de la vivienda sin mejoras (G= 3,29 W/m³.°C) y el aumento en su eficiencia (G= 1,26 W/m³.°C) superando los estándares de la Norma IRAM 11604.

Esta mejora hubiera sido superior con una relación vidriado / opaco menor pero implicaría un cambio en la imagen arquitectónica de la vivienda.

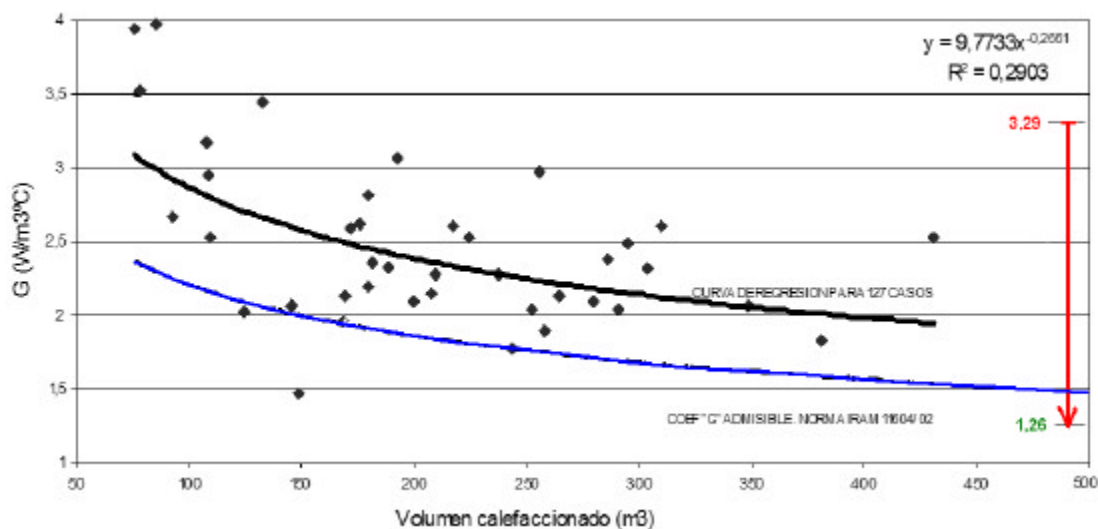


Figura 7: Comparación entre la mejora en la eficiencia energética del caso analizado, respecto de viviendas auditadas en la región y el valor admisible de la Norma IRAM 11604.

3.4. Emisiones de Gases Efecto Invernadero GEI

Se planteó un cálculo de las emisiones potenciales de gases de efecto invernadero para el proyecto original y con las mejoras implementadas. Se utilizó como combustible gas natural por redes que es el utilizado por la vivienda. El método utilizado para estimar la cantidad de GEI que se producen es el denominado *Bottom-Up* en el cual se toma a partir de datos específicos sobre el *consumo real* de gas natural en m³ en la vivienda.

En la Tabla 3 mostramos los gases considerados de la totalidad de emisiones producidas por la combustión en los artefactos de calefacción, expresados en Kg/año: material particulado, dióxido de azufre (SO₂), óxidos nitrosos (NO_x), hidrocarburos volátiles (HC), monóxidos de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂).

Tabla 3: Emisiones de GEI debidas al sistema calefacción.

	Consumo energía		Emisiones GEI en Kg/año					
	Kw/año	m ³ /año	Part	SO ₂	NO _x	HC	CO	CO ₂
Proyecto original	191105	17860	3,1715	0,0835	30,0454	6,3429	6,3429	35386,78
con mejoras	33545	3135	0,5567	0,0146	5,2739	1,1134	1,1134	6475,21

3.5. Sistema fotovoltaico

La vivienda prevé la incorporación de un sistema de generación fotovoltaico. Se buscó un sistema fiable y tienen una vida útil cercana a los 30 años con bajo o nulo mantenimiento y reposición en condiciones normales de uso. A estas ventajas se contraponen la principal desventaja que es el costo. Así hay dos formas de plantear el proyecto:

- tratar de cubrir las necesidades eléctricas con iluminación incandescente o fluorescente total con FV. Aún realizando un detallado escenario de uso de la energía.
- Partir de un generador Standard de costo accesible por el Comitente y proponer escenarios posibles de utilización de la energía.

Se optó por la segunda forma y en función de esto se plantea el proyecto y dimensionamiento. El sistema se compone de dos partes y 5 componentes.

En terraza: 8 módulos FV policristalinos de alto rendimiento Marca Solartec Modelo KS60 distribuidos en dos grupos de 4 sobre bastidor metálico ubicados en terraza de la vivienda. Cada grupo ocupa una

superficie en planta de 1.96 m² (aprox 142 cm x 142 cm y 140 cm de altura). Una caja de conexionado cercana a los módulos de la cual parten 2 conductores de 6 mm² y tierra hacia el cuarto de máquinas.

En cuarto de máquinas: un inversor electrónico de tensión monofásico que convierte corriente continua de 48V a 220 V. Marca TGpower, modelo TGP 48-2000. Con potencia nominal de 2000 W (30 A); un regulador de carga marca Solartec, modelo JP7 SCB; baterías.

El sistema FV posee una potencia de 480 Wp que implica una inversión de U\$S 4516 a razón de 9,42 U\$S/Wp.

Se propusieron 4 escenarios de uso para interrupción de la red pública alimentando una heladera e iluminación mínima para la emergencia, situación de verano e invierno y situación de uso total. Lo ideal hubiera sido un modelo «on grid» pero a pesar que hay una ley provincial no se encuentra reglamentada y de hecho está prohibido conectarse a la red y exportar el excedente. En tabla 4 se muestra un escenario global de uso.

Tabla 4: Escenario global del sistema eléctrico fotovoltaico

Local	Can-tidad	Tipo lumin	Potencia U. W	Hs / día	Factor uso	Total diario W/día
Porche	1	Dulux L	11	5,00	0,70	38,50
	2	Dulux L	5	5,00	0,70	35,00
Hall acceso	4	Dulux L	5	2,00	0,70	28,00
Hall escalera PB	2	Dulux L	7	3,00	0,70	29,40
Sala máquinas	4	Dulux L	11	4,00	0,25	44,00
Estar	4	Dulux L	5	2,00	0,70	28,00
	1	Dulux L	11	0,25	0,50	1,38
Comedor	1	Dulux L	20	2,00	0,70	28,00
Cocina gral	1	Dulux L	20	4,00	0,70	56,00
Cocina spots	8	Dulux L	5	0,25	0,50	5,00
Heladera	1	compresor	175	6,00	1,00	1050,00
Primer patio	10	Dulux L	11	4,00	0,20	88,00
Cochera	2	Dulux L	11	2,00	0,25	11,00
Segundo patio	10	Dulux L	11	4,00	0,50	220,00
Escalera PA	4	Dulux L	7	1,00	0,70	19,60
Biblioteca	4	Dulux L	7	1,00	0,25	7,00
Sala dormitorios	1	Dulux L	15	1,00	0,70	10,50
	2	Dulux L	7	0,25	0,70	2,45
Vestidor	2	Dulux L	7	0,50	0,70	4,90
Dormitorio	1	Dulux L	15	0,50	0,70	5,25
	2	Dulux L	7	0,25	0,70	2,45
Baño Principal PA	2	Dulux L	7	1,00	0,70	9,80
	1	Dulux L	11	0,50	0,70	3,85
Palier dormitorios	2	Dulux L	7	1,00	0,70	9,80
Terraza dormitorios	2	Dulux L	11	0,15	0,70	2,31
TOTAL diario					W/día	1740,19

3.6. Mediciones de confort en verano

El monitoreo de las condiciones de confort en el interior de la vivienda en el verano (15/02 a 23/02/2007) mostro comportamientos esperables. A lo largo de la semana de medición en la que la figura 8 y 9 muestran una baja en la temperatura el 2do día por una lluvia el resto de la semana la tempertura fue creciendo hasta alcanzar un límite de 30°C con temperturas exteriores máximas de 34 a 36°C.

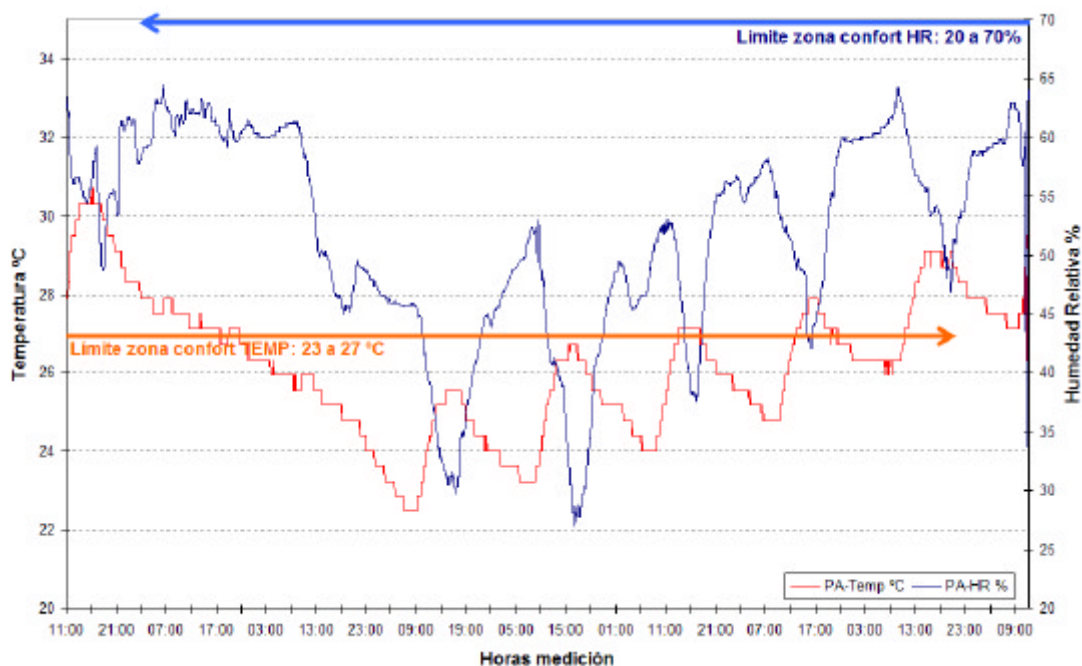


Figura 8: Comportamiento higrotérmico en planta alta.

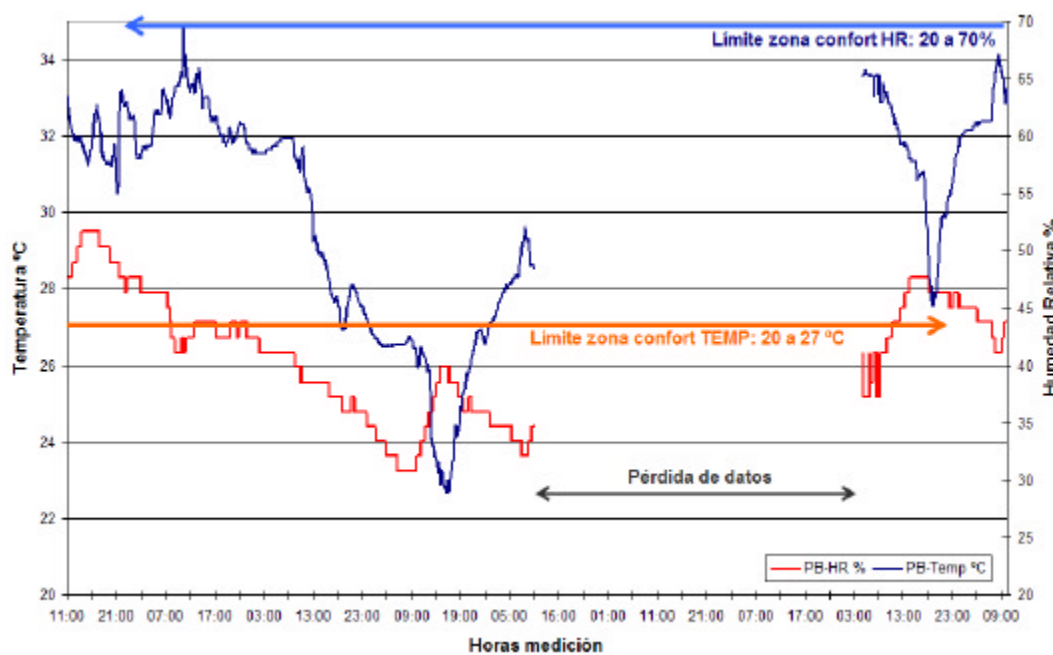


Figura 9: Comportamiento higrotérmico en planta baja.

La humedad relativa se mantuvo en niveles de confort ampliado de verano y confort con ventilación. En el penúltimo día de medición vemos que los niveles de confort varían entre un mínimo de 26°C (64%) y un máximo de 29°C (46%) en planta alta. Esto implica una amplitud térmica de 3°C entre el día y la noche. Las mínimas podrían ser más bajas si se hubiera implementado el sistema de ventilación nocturna ya que por el tipo de ventanas utilizadas sin rejas ni mosquiteros hacen que no se dejen abiertas en planta baja. Esto impide aprovechar el fresco nocturno. La baja amplitud térmica muestra el efecto de la masa térmica de 220 kg/m² y el fuerte aislamiento térmico en muros, techos y vidriados.

4. CONCLUSIONES

El objetivo principal del trabajo y del pedido del propietario fue, dentro de lo consensuado entre asesores ambientales, proyectistas y cliente, concretar una vivienda con cierto grado de compromiso ambiental para ser un referente en la ciudad de La Plata. Esto se consiguió en varios aspectos, de lo que se define como «arquitectura sustentable» (Wikipedia, 2006), pero no en todos.

Se logró una vivienda que luego de un año de habitada muestra como principal resultado su «eficiencia energética» sumado a una baja tasa de emisiones GEI que puede obrar como antecedente para futuras reglamentaciones. Los proyectistas, por otra parte, tomaron las recomendaciones que no afectaran la *imagen formal* del edificio y esto se mostrará en trabajos posteriores; incidió en el confort higrotérmico de verano en algunos ambientes de la vivienda. El confort térmico de invierno se monitoreará durante el 2007 y la temperatura de confort de referencia usada en las simulaciones surge del valor fijado por los usuarios en el termostato del sistema de calefacción.

Por precaución se instaló un equipo de aire acondicionado «split» en el dormitorio pero que no fue utilizado gracias a la ventilación cruzada y el aislamiento térmico en muros, techos y vidriados. En la comparación con Normas IRAM se puede ver claramente el grado de mejora en la eficiencia ya que hay un valor de referencia pero no se dispone aún de valores admisibles de emisiones GEI.

En el diseño de la instalación eléctrica se previeron circuitos de luminarias de alta eficiencia luminosa y eléctrica para el momento que se instale el generador fotovoltaico y su banco de baterías estacionarias en un ambiente acondicionado especialmente bajo la escalera. Además la instalación sanitaria tiene prolongaciones hacia la azotea que junto a llaves de tres vías permitirán el funcionamiento de los 8m² de paneles solares planos previstos. En el momento que este en funcionamiento se realizará el análisis de comportamiento.

Las innovaciones propuestas para el mejoramiento termo-acústico de la envolvente del edificio no presentaron problemas ni resistencias debido al compromiso ambiental del comitente y la receptividad de los arquitectos proyectistas. Luego de un año de uso no se presentaron inconvenientes salvo por la condensación de vapor de agua sobre el interior de los marcos de la carpintería de aluminio.

Se continuará el seguimiento del comportamiento ambiental del edificio a lo largo del corriente año.

5. REFERENCIAS

CZAJKOWSKI Jorge , et al. (2003). *Evaluación del comportamiento energético en viviendas urbanas auditadas en La Plata, Buenos Aires, Argentina*. Anais ENCAC 2003.

CZAJKOWSKI, Jorge (2000). *Desarrollo de un modelo de ahorro de energía en edificios de vivienda y determinación de valores límite de calidad térmica para la republica Argentina*. Avances en Energías Renovables y Ambiente N° 4. CD.

CZAJKOWSKI, Jorge (1999): *Programa AuditCAD para el análisis del comportamiento energético edilicio basado en auditorías energéticas y de confort*. Anais del V Encuentro de Conforto no Ambiente Construido. 6 Pág. CD.

DISCOLI, Carlos. (1998). *El diagnóstico de la gestión productiva-energético-ambiental de las redes territoriales del sector salud*. Edit UNLP.

GIVONI, Baruch A. (1976) *Man, Climate and Architecture*. Architectural Science Servs. Publishers. Ltd. London.

IDAE-Institut Cerdá-Ministerio de Fomento. (1999). *Guía de la edificación sostenible. Calidad energética y medioambiental en edificación*. Dirección general de la vivienda, la Arquitectura y e Urbanismo, Institut Cerdá, IDAE. Madrid. ISBN 84-87104-38-X.

IRAM. Normas sobre acondicionamiento térmico de edificios. 11601, 11603, 11605, 11604. Buenos Aires, Argentina.

Wikipedia (2006). *Arquitectura sustentable*. En [http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_sustentable].

AGRADECIMIENTOS

Un especial reconocimiento al Estudio formado por los arquitectos Ana Ottavianelli y Daniel Vincenti por la buena predisposición y entusiasmo con que encararon las propuestas de mejoramiento. Un especial agradecimiento al Dr Ponzinibbio y su esposa que confiaron e invirtieron parte de sus ahorros en pedir, construir y habitar una casa única en el sur del gran Buenos Aires.