



## ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

# TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS Y MATERIALES DE BAJO COSTO ENERGÉTICO EN LA ARQUITECTURA SUSTENTABLE. CASO PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN CENTRO-OESTE DE ARGENTINA.

**Afredo Esteves y Daniel Gelardi**

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICYT)

Universidad de Mendoza

Arístides Villanueva 773 – 5500 Mendoza Argentina

Tel. 0261-4202017 int. 150

e-mail: alfredoesteves@argentina.com/[alfredo.estevess@um.edu.ar](mailto:alfredo.estevess@um.edu.ar) / daniel.gelardi@um.edu.ar

## RESUMEN

El sector de la construcción consume anualmente cerca del 43 % de la energía primaria de Argentina. El 28% en operar los edificios: calefacción, aire acondicionado, producción de agua caliente, electricidad para artefactos, cocción, etc. El diseño de los edificios tiene un impacto importante sobre los consumos energéticos, ya sea a través del diseño formal o de la elección de los materiales de sus componentes. Se presenta en este trabajo detalladamente, la forma energéticamente económica de incorporar aislamiento térmico en distintos elementos (techos y muros) y se indica el caso de una vivienda en el centro-oeste de Argentina. Se muestra la evaluación térmica y las mediciones de temperaturas y humedad interiores en la época estival. Los resultados indican valores en todo momento, dentro de la zona de confort térmico, y sin consumir energía auxiliar para enfriar el edificio.

Palabras clave: arquitectura sustentable, conservación de energía, sistemas pasivos, energía de materiales.

## ABSTRACT

Building sector expend annually 43% of primary energy of Argentina. The 28% of that is used in: heating, air conditioning, water heating, electricity for lighting and appliances, cooking, etc. Building design have an important impact on this energetic consumption. In this work, it is presented the energetically economical technical of incorporate thermal isolation in different elements of building. Study case is showed and it is presented its thermal performance too. Measurements of temperatures and relative humidity have been made in summer. The results indicates values into comfort zones and without energetic waste for cooling the building.

Keywords: sustainable architecture, energy conservation, passive systems, energy involved in materials

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción consume anualmente cerca del 43 % de la energía primaria de Argentina. El 28% en operar los edificios: calefacción, aire acondicionado, producción de agua caliente, electricidad para artefactos, cocción, etc. (INDEC, 2004). Aproximadamente un 15% se gasta anualmente en la industria para la producción de materiales que serán destinados a la construcción de los edificios nuevos que se incorporan al sector.

El diseño de los edificios tiene un impacto importante sobre los consumos energéticos, ya sea a través del diseño formal o de la elección de los materiales de sus componentes y es necesario formar convenientemente a los profesionales responsables para tender hacia una construcción sustentable. En la Universidad de Mendoza, en la Facultad de Arquitectura se lleva a cabo en la asignatura correspondiente a la Tesis de grado, un taller de Arquitectura Sustentable, en la cual, los alumnos se ponen en contacto con todos los conocimientos respecto de la arquitectura sustentable los que engloban los siguientes puntos. (Gelardi et al., 2004).

Pero este trabajo de docencia debe estar acompañado por las posibilidades que le da la aplicación de los conceptos transmitidos y tomar ejemplos que funcionen como estudio de casos y casos de demostración para afianzar los conocimientos transmitidos a través de observar los ejemplos.

En este trabajo se presenta los resultados del diseño y construcción de una vivienda bioclimática. La misma se ubica en la localidad de San Rafael, Mendoza, en el centro-oeste de Argentina. Posee estrategias de conservación de energía, uso de energía solar para calefaccionar e iluminar los espacios y dispone también de sistemas de enfriamiento pasivo. La misma ha sido proyectada con estrategias de conservación de energía en distinto tipo de muros, adaptando la tecnología de bajo costo a cada uno de los mismos en función de su situación estructural.

### 1.1 Lugar y clima

La vivienda ha sido proyectada en 2001 y construida durante 2004-2005. Hay que destacar que San Rafael, (latitud: 34.5 S, longitud: 68.4 W, altitud: 748 msnm), posee un clima templado, con inviernos fríos (1516 C.día/año como grados-día de calefacción) y veranos calurosos pero con noches frescas. La Figura 1, muestra datos climáticos de temperaturas (máximas y mínimas absolutas, medias y promedio) y radiación solar sobre plano horizontal (Servicio Meteorológico Nacional, 2000).

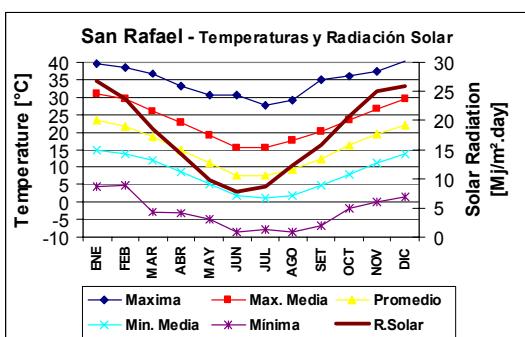


Grafico 1: temperaturas y radiación solar sobre plano horizontal para San Rafael, Mendoza, Argentina.

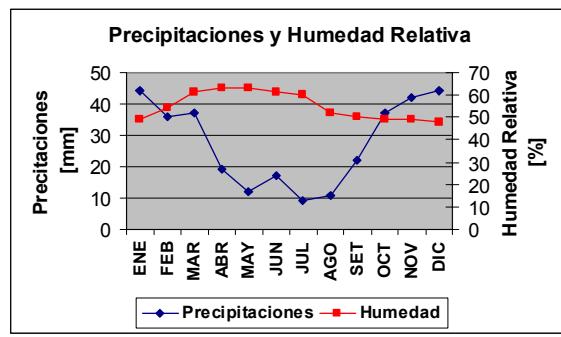


Gráfico 2: precipitaciones y humedad relativa mensual.

Como se puede observar la amplitud media diaria es alta (entre 14 y 15 C), por lo cual, el uso de la masa térmica resulta esencial para la utilización de sistemas solares pasivos de calefacción y enfriamiento.

Las precipitaciones son escasas, propias del ambiente semidesértico, por lo cual, la actividad principal de la agricultura (viticultura y fruticultura) se desarrolla en un oasis de ... km<sup>2</sup>, el resto son terrenos de secano, por lo que la humedad relativa es baja. Sin embargo, la ciudad se encuentra inmersa en el oasis. La Figura 2 muestra los valores mensuales de precipitaciones y humedad relativa del aire.

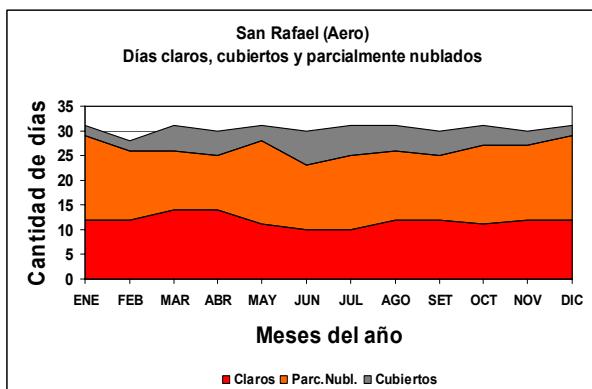


Gráfico 3: cantidad de días medios mensuales con la condición de cielo: nublado, claro o parcialmente nublado.

Como se puede observar los meses de menores precipitaciones son los meses invernales. Mientras que en el verano, principalmente enero y febrero, las precipitaciones son cuantiosas, sobretodo de granizo, lo que indica que debe prevenirse de este hecho para evitar deterioros de los materiales y a la vez, tomar en consideración la evacuación de toda el agua de lluvia que precipita.

La Radiación solar es intensa durante todo el año. El Gráfico 3 muestra la cantidad media de días claros, parcialmente claros y nublados cubiertos mensualmente. Como se puede observar, la cantidad de días nublados es muy reducida, dadas las bajas precipitaciones y que el

lugar se encuentra en una zona eminentemente continental. Esta radiación solar abundante durante todo el año puede ser utilizada para calefaccionar los edificios en invierno y se requiere diseñar protecciones convenientes para los meses estivales. La iluminación natural puede aprovecharse durante todo el año.

La dirección y velocidad de viento puede ser utilizada juntamente con la amplitud térmica para el refrescamiento en los meses de verano. Particularmente en el clima de San Rafael, donde las amplitudes térmicas son excesivas, se hace necesario contar con masa térmica, la que enfriada convenientemente durante las noches, permite el enfriamiento de los ambientes interiores manteniéndolos dentro de la temperatura de confort. Los gráficos 4 y 5 muestran los valores de la velocidad de viento y de la frecuencia de dirección de viento respectivamente. Como se puede observar, las direcciones de viento más frecuentes son las NE, E, SE. Por lo cual, la fachada S, E y N, son las mejores para ubicar las aberturas de ventilación. Aunque también hay mucha frecuencia de calmas (40.8%), por lo tanto, convendría combinar aberturas a distinta altura para generar una circulación por termosifón. Finalmente es interesante notar los valores de velocidad máxima de viento (114 km/hr) dato importante para el dimensionamiento de la estructura y la elección de materiales de protección del aislamiento térmico en muros y techos.

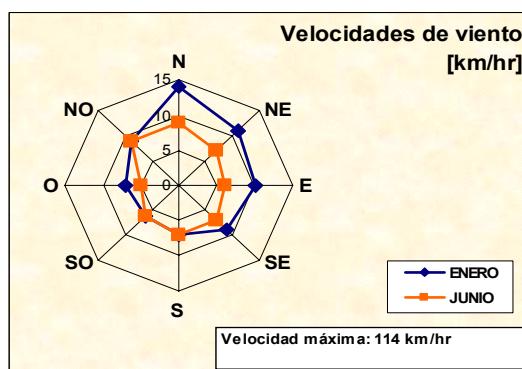


Gráfico 4: velocidad de viento para los meses de enero y junio en km/hr.

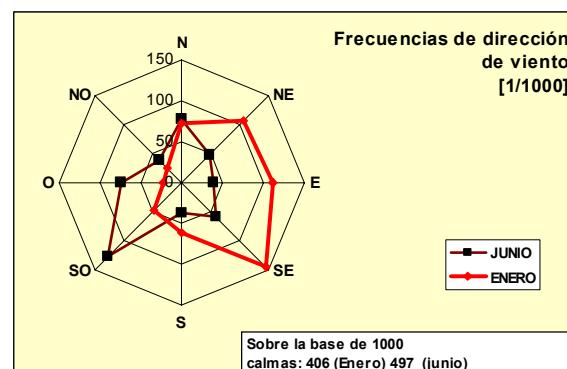


Gráfico 5: frecuencia de dirección de viento para los meses de enero y junio en 1/1000.

## 2. PROYECTO ARQUITECTONICO

El planteo de organización dispone de un cuerpo orientado en sentido este-oeste, desarrollando una fachada Norte, en la cual, las unidades funcionales que contendrán las acciones del uso compartido y las de descanso y reposo, se disponen contiguas a ésta. Ver Gráfico 6.

En el otro frente, se disponen las unidades de servicio y núcleos húmedos, acompañando los lugares de trabajo y concentración como estudio y las salas de huésped. Este esquema comparte las aberturas estratégicamente enfrentadas disponer de una ventilación natural eficiente. Las unidades de servicio se agrupan en bloques.



Grafico 6: planta de la vivienda. Hacia el norte se ubican los dormitorios y salas de estar y hacia el este y sur, dependencias de servicio.



Figura 1: foto de la fachada N y O de la vivienda.

## 2.1 Análisis de la Forma

El análisis de la forma tiene que ver con la superficie de envolvente que es la responsable del intercambio de energía con el medio ambiente, ganando durante el verano y perdiendo durante el invierno, típico del clima templado reinante en el lugar. El factor utilizado para la evaluación formal es el Factor de Área Envolvente/Piso (Esteves et al., 1997). Se calcula como la relación entre la superficie de envolvente [ $m^2$ ] y la superficie cubierta a calefaccionar o enfriar [ $m^2$ ]. El FAEP de la semiesfera es  $2\ m^2/m^2$  lo que significa que para cada  $m^2$  de superficie a calefaccionar o enfriar, se necesita  $2\ m^2$  de envolvente. En nuestro caso, la vivienda es suficientemente compacta y el FAEP es de  $1.922\ m^2/m^2$ .

## 2.2 Tecnología

La vivienda cumple las consideraciones de la arquitectura sustentable, es decir, utiliza:

- estrategias de conservación de energía en techos, muros, fundaciones y aberturas
- fuentes renovables de energía en un porcentaje elevado.
- materiales que tienen una relación baja del costo energético/vida útil.

Varios autores aportan a este tema, Bartoletti, 1988 en cuanto a la práctica constructiva; Coscollano Rodríguez, 2002 hace aportes en cuanto al espesor recomendado, al igual que la Norma IRAM 11604 y Roaf et al, 2003 en cuanto a materialidad.

### 2.2.1 Estrategias de conservación de energía en techos

En techos, se incorporó poliestireno expandido de  $20\ kg/m^3$  de densidad (espesor 7 cm), con una barrera de vapor por el lado inferior y sobre material de MDF que actúa como cielorraso, esta se protege con un hormigón alivianado (3 cm de espesor) y luego se coloca la chapa de 1.15 mm de espesor, para resistir el granizo frecuente en esta zona geográfica del país. Ver gráfico 7.

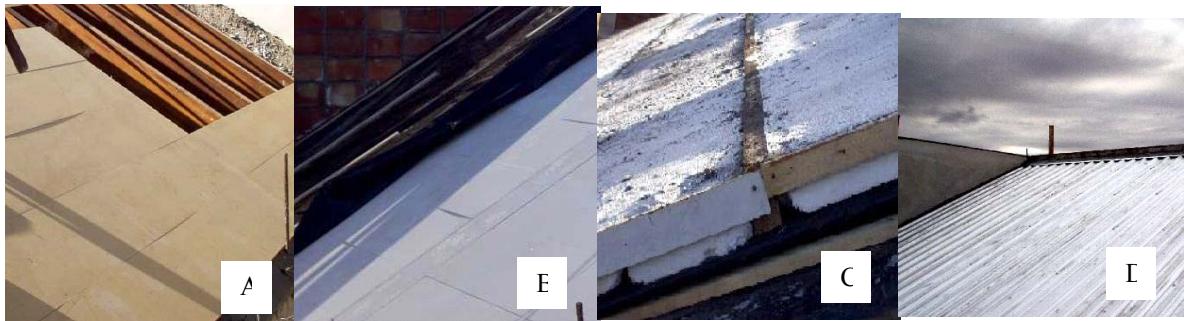


Gráfico 7: aislación térmica de techo, A) cielorraso de MDF sobre correas de madera; B) colocación de barrera de vapor; C) vista de alfajías de madera, aislación térmica de poliestireno expandido y relleno con hormigón alivianado; D) vista del techo terminado de chapa.

### 2.2.1 Estrategias de conservación de energía en muros

Se han diseñado tres tipos de muros diferentes, y en cada uno de ellos, la conservación de energía se logra de tres modos diferentes.

En muros de ladrillo, se incorporan 5 cm de poliestireno expandido de  $13\ kg/m^3$  de densidad, entre alfajías de álamo (madera típica de la región), metal desplegado de  $750\ gr/m^2$ , como soporte del

revoque de hormigón (espesor 3 cm) y sobre él se adhiere lajas de piedra negra o rosa de San Rafael dependiendo del lugar de ubicación del muro. Ver Gráfico 8.



**Gráfico 8: incorporación de aislación térmica en muros:** A) colocación de la barrera de vapor, alfajías de madera, poliestireno expandido entre ellas y metal desplegado; B) agregado de revoque de concreto; C) pegado de terminación en laja de piedra rosa de San Rafael.

En tabiques de hormigón armado visto, la aislación térmica colocada es de alta densidad para que soporte la presión producida, al llenar con el hormigón y hasta que el mismo termine de fraguar. El poliestireno expandido queda atrapado entre dos tabiques de hormigón visto, cada uno con su estructura propia. La dificultad que tiene este tipo de muros, es que se debe colocar al final, un encadenamiento que une la estructura de un tabique de un lado con el otro. Vigas de fundación, columnas y vigas de dintel, generan un puente térmico inevitable por la necesidad de interrumpir el material de aislación térmica debido a la necesidad estructural ocasionada por la zona sísmica. Ver gráfico 9.



**Gráfico 9: incorporación de aislación térmica en tabiques de hormigón:** A) colocación de armadura doble de cada lado del poliestireno expandido de alta densidad ; B) Desencofrado del tabique llenado por partes, cada una de ellas se divide por las buñas indicadas en la foto.

La aislación térmica en tabique superior se incorpora colocando las alfajías de madera, tomadas a la estructura metálica del tabique. Entre estas, se coloca el material aislante térmico. Posteriormente se revoca con hormigón (3 cm de espesor) y se adhiere con pegamento, la piedra tipo laja de 2 cm de espesor. El gráfico 10 muestra la colocación de alfajías, luego el aislante entre alfajías y finalmente la superficie terminada de piedra.



**Grafico 10: colocación de aislación térmica en tabiques livianos, A) colocación de alfajías horizontales; B) colocación de poliestireno expandido entre alfajías verticales; C) revestimiento**

#### 2.2.2 Estrategias de conservación de energía en ventanas

Se han proyectado ventanas con doble vidriado hermético (DVH), conformada con dos vidrios de espesor variable dependiendo del tamaño de la misma, con una cámara estanca, en todos los casos de 1.2 cm de espesor.

#### 2.2.3 Estrategias de sistemas solares pasivos para calefacción

Se ha proyectado ventanas con una orientación levemente desplazada del norte (acimut 192°), lo que permite contar con una ganancia directa de energía solar que incide dentro de los espacios en invierno, acumulándose en los elementos macizos (muros de ladrillo y tabiques de hormigón) para luego entregar esta energía al espacio interior durante las horas en que no brilla el sol.

#### 2.2.4 Estrategias de enfriamiento pasivo

La estrategia utilizada para el enfriamiento en los meses de verano, consiste en utilizar la masa térmica en combinación con ventilación nocturna, aprovechando la fuerte amplitud térmica exterior (ver gráfico 1). Esta estrategia se calculó que es suficiente para mantener confortables los espacios interiores.

#### 2.2.5 Materiales utilizados en la construcción de la vivienda

Para la construcción de la vivienda se han utilizado materiales tradicionales de la región: ladrillón, estructura de hormigón armado, techos de chapa, cielorrasos de madera MDF, carpinterías de aluminio, vidrio y pisos de madera (aunque inicialmente fueron proyectados en piedra, luego a pedido del propietario por preferencia, se cambiaron a madera). Los mismos constituyen materiales de bajísima relación costo energético/vida útil, tal como aparece en la tabla 1.

**Tabla 1: contenido energético de los materiales empleados en la construcción**

Contenido energético por elemento	Estructura y mampostería	Revestimiento de piedra	madera de pisos y revestimientos	Estructura metálica	Ventanas de Aluminio	Aislación térmica	Total [kWh/año.m <sup>2</sup> ]
Totales [MJ]	355697.9	3855.0	20951.9	115799.1	37100.0	21823.7	
Totales [kWh]	98805.0	1070.8	5820.0	32166.4	10305.6	6062.1	
Duración [años]	200	200	100	100	50	30	
Superficie cubierta [m <sup>2</sup> ]	312	312	312	312	312	312	

	1.583	0.017	0.373	1.031	0.661	0.648	4.313
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Como se puede observar, en la elección de los materiales se ha privilegiado la duración de los mismos lo que significa un bajo consumo energético para la construcción del edificio. En efecto, el hormigón armado, muros de mampostería, revestimiento de piedra, son los elementos de más duración (200 años). La estructura metálica y los pisos y revestimientos de madera, se les ha fijado una duración de 100 años, pero podría ser que siguieran prestando servicios con un mantenimiento adecuado (existen en Mendoza, como lugar seco, muchas estructuras de madera de 100 o más años). Las ventanas de aluminio se consideran con una duración de 50 años, porque si bien, el perfil para el marco y la hoja es muy robusto, los herrajes tienen piezas que se desgastan más rápidamente en el tiempo. Finalmente a la aislación térmica se le ha dado 30 años, ya que existen en esta zona, viviendas con aislamiento térmico de muros del mismo material que poseen más de 30 años y se encuentran en perfecto estado. Como se puede observar, el total del consumo energético demandado para la construcción es de 4.3 kWh/año.m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta la superficie de la vivienda de 312 m<sup>2</sup>. Es de destacar que este valor, resulta bajo tomando en cuenta el consumo anual para acondicionar el edificio de 45.5 kWh/m<sup>2</sup>.año, valor este muy ajustado a las normas europeas para definir el consumo para edificios sustentables. En la Tabla 2, se muestran los datos del consumo de energía para operar el edificio, calculados a partir del programa de balance térmico utilizado en la Universidad de Mendoza para el cálculo de edificios sustentables (Esteves et al., 2003).

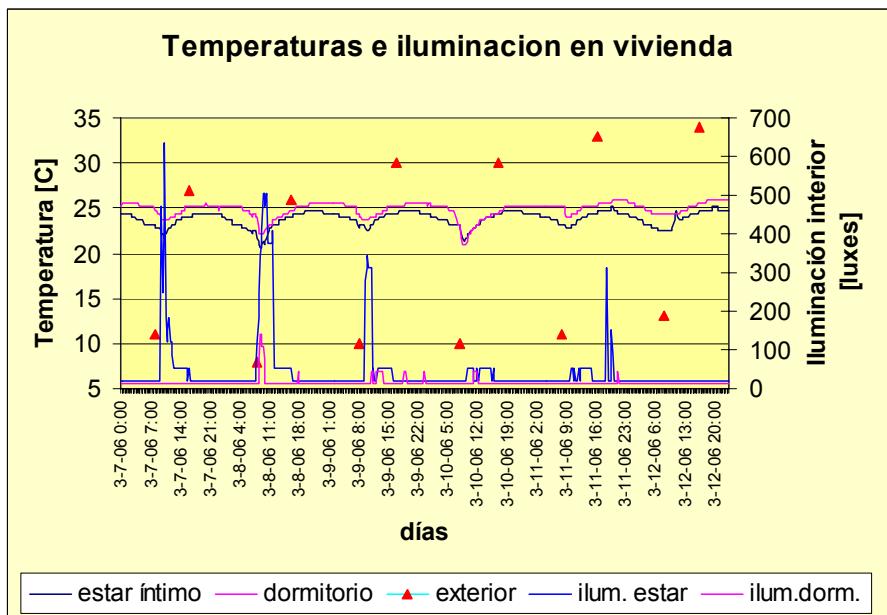
**Tabla 2: contenidos energéticos para operar el edificio**

Item	Valor
Coeficiente Neto de Pérdidas (W/ C)	555.4
Fracción de Ahorro Solar [%]	47.3
Potencia instalada necesaria calefacción [kcal/hr]	11695
Energía consumida anual [kwh/año]	14205.7
Superficie cubierta [m <sup>2</sup> ]	312
Energía consumida anual [kWh/año.m <sup>2</sup> ]	45.5

### 3. MEDICIONES EXPERIMENTALES

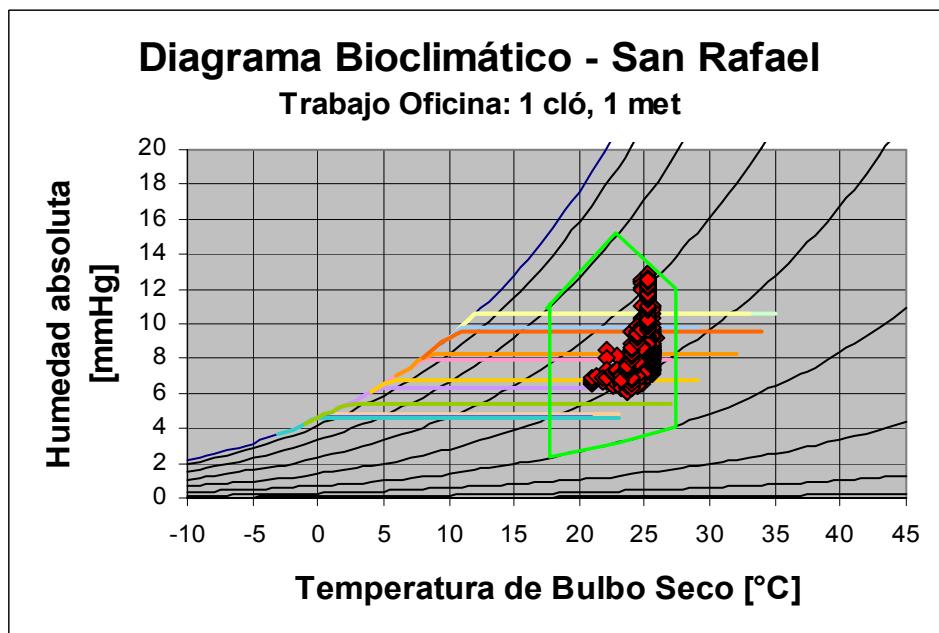
Se han realizado mediciones de temperatura, humedad relativa interior y exterior durante 10 días en la época de otoño de 2006. Cabe destacar que la vivienda ha sido ocupada a partir de Diciembre de 2005.

El Gráfico 11, se indican los valores de temperatura exterior, temperatura interior medida en el estar íntimo y en el dormitorio principal y humedad en los mismos locales. Como se puede observar, la variación térmica en el exterior (triangulitos rojos), es del orden de 15 a 18 C, lo que representa una amplitud extremadamente alta (dada la baja humedad relativa). Sin embargo, en el interior, las amplitudes térmicas en ambos locales se mantienen en menos de 3 C y dentro también de la zona de confort (de 21C a 27C), según Givoni, 1976.



**Grafico 11:** mediciones de temperatura e iluminación natural en espacios interiores y temperatura exterior.

Resulta interesante observar el Grafico 12, en el que se presenta el diagrama bioclimático de la localidad de San Rafael, con las temperaturas y humedad medias mensuales del aire exterior y la zona de confort (línea verde) dentro de la cual, se indican la temperatura y humedad para las cuales, el 80% de las personas se encuentran en confort térmico. Se indican además los valores de la temperatura y humedad de los puntos relevados en el interior de la vivienda en cuestión. Como se puede observar, la totalidad caen dentro de la zona de confort térmico.



**Gráfico 12:** diagrama bioclimático de la localidad de San Rafael y los valores registrados en el interior (rombos en rojo)

## **4. CONCLUSIONES**

Se presenta la tecnología utilizada en la construcción de una vivienda sustentable. Se analiza detalladamente la inclusión de la aislación térmica en los distintos elementos: techos, muros y ventanas. Se indica los sistemas pasivos de calefacción y enfriamiento y se evalúa su rendimiento térmico. Se calcula el consumo energético involucrado en la construcción y se lo compara con el consumo energético operativo. Finalmente se presentan mediciones experimentales que muestran el comportamiento de la misma, durante 10 días en la época cálida. La vivienda resulta con un balance energético cuyo consumo resulta mínimo, compatible con los límites impuestos por la Comunidad Europea para edificios sustentables.

Además, todas las protecciones, técnicas constructivas y materiales utilizados son de bajo costo energético, proyectados con sensibilidad medio ambiental, sin olvidar la idea de lograr la aceptación del sistema en el orden de la experiencia estética adecuada.

## **5. REFERENCIAS**

- BARTOLETTI M. 1988. **Guia Práctica del Aislamiento Térmico**. Ed. Everest S.A., Madrid.
- COSCOLLANO RODRIGUEZ J. 2002. **Ahorro energético en la construcción y rehabilitación de edificios**. Ed. Paraninfo. Australia.
- ESTEVES A., GELARDI D., OLIVA A. 1997. La forma en la Arquitectura Sustentable. **Proceedings of II Intern. Conf. For Teachers of Architecture**. Part 3, work 11. Florencia, Italia. ISBN 88-8125-230-9.
- ESTEVES A., GELARDI D. 2003. "Docencia En Arquitectura Sustentable: Programa de Optimización de Proyectos de Arquitectura Basado en el Balance Térmico". **Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**. Vol. 7, Ed. En CD ISSN 0329-5184. Tomo II, Secc. 10, pp. 31-36.
- GELARDI D.; ESTEVES A. 2004. "La Dimensión Ambiental de la Arquitectura Como Eje Organizador del Procedimiento Proyectual para una Arquitectura Sustentable". **Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**. Vol. 8, Ed. En CD ISSN 0329-5184. Secc. 5, pp 133-138.
- GIVONI B. 1976. **Man, Climate and Architecture**. Applied Science Publisher, Londres.
- INDEC 2004. Instituto de Estadísticas y Censos. Ministerio de Economía de la República Argentina. Balances Energéticos.
- ROAF S., FUENTES M., THOMAS S. 2003. **Ecohouse 2. A Design Guide**. 2<sup>nd</sup> Ed. Architectural Press. Amsterdam.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 2000. **Estadísticas Climatológicas 1980-1990**. SMN. Gobierno de la Nación Argentina.