

## EVALUACIÓN TERMO-ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA EN LA PERIFERIA DE LA CIUDAD DE MENDOZA

**M. Victoria Mercado<sup>1</sup>, Alfredo Esteves<sup>2</sup> y Carolina Chaves<sup>3</sup>**  
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV), (INCIHUSA)  
Centro Científico y Tecnológico Mendoza (CONICET- CCT Mendoza)  
C.C. 131. C.P.5500, Mendoza, Argentina  
Tel. (0261) 4288314 Int. 270, Fax. (0261) 4287370  
E-mail: [mvmercado@lab.cricyt.edu.ar](mailto:mvmercado@lab.cricyt.edu.ar)

**RESUMEN:** El diseño de viviendas bioclimáticas responde a las expectativas de mejoramiento de la calidad de la edificación en un sentido medio-ambiental. El objetivo principal de este trabajo apunta a revisar y evaluar la respuesta de una vivienda y las tecnologías utilizadas como parte de un diseño térmico y energéticamente eficiente. La primer etapa construida de la vivienda presentada aquí se compone de cocina-comedor, dormitorio principal, paso y baño. El sistema constructivo utilizado fue el tradicional para muros ladrillón con revoques, y para techos se utilizó una cubierta liviana. Las estrategias bioclimáticas utilizadas fueron: conservación de energía y ganancia solar directa e indirecta. Se realizó una evaluación térmico-energética con mediciones *in-situ* y balance energético con el método RCC/FAS. La situación térmica presenta estabilidad dentro del rango de confort, manteniéndose entre los 19-22°C. Se advierte que la vivienda con la incorporación de estrategias bioclimáticas reduce el consumo de energía hasta un 50%.

**Palabras Claves:** arquitectura bioclimática, conservación de energía, estrategias bioclimáticas

### INTRODUCCIÓN

La arquitectura bioclimática aporta una herramienta de diseño económico y ecológico, ya que se maximiza la utilización del recurso solar disminuyendo a su vez el aporte contaminante de los sistemas de acondicionamiento mecánico.

El diseño de viviendas bioclimáticas responde a las expectativas de mejoramiento de la calidad de la edificación desde el punto de vista medio ambiental. Por la disminución en el consumo energético y la conservación del recurso utilizado se reducen considerablemente las emisiones contaminantes hacia el medio ambiente.

El objetivo principal de este trabajo apunta a revisar y evaluar la respuesta de una vivienda y las tecnologías utilizadas como parte de un proyecto arquitectónico térmico y energéticamente eficiente. Considerando que: *el camino a la buena arquitectura se encuentra a partir de la comprensión de nuestro pasado rescatando valores aún vigentes y de la aplicación de las técnicas contemporáneas que permitan el desarrollo de una edificación actual energéticamente eficiente y medioambientalmente conciente...*(Ganem et al, 2005).

En la vivienda que aquí se presenta, se consideraron desde su gestación proyectual criterios de sustentabilidad requeridos por los propietarios. Por parte del profesional a cargo, se respondió a esta inquietud, consolidando un proyecto bioclimático, teniendo consideraciones en materiales, características constructivas, estrategias bioclimáticas y orientación.

El edificio posee un planteo similar a la vivienda de medio patio construida por los inmigrantes europeos a principios del siglo XX. Se trata de una edificación que articula los espacios interiores, espacios intermedios y patios respondiendo de forma inteligente al clima.

Se encuentra ubicada en el sector sub-urbano del departamento de Luján de Cuyo, situado hacia el sur-oeste de la ciudad de Mendoza. El lote presenta forma rectangular, con su longitud mayor orientada este-oeste. El proyecto fue realizado por la arquitecta Carolina Chaves quién también dirigió la obra de la primer etapa de construcción, siendo la etapa evaluada en el presente trabajo.

### SITIO Y SITUACIÓN. CLIMA Y ENTORNO

La ciudad de Chacras de Coria se encuentra situada en la región cuyana, hacia el sur-oeste de la ciudad de Mendoza, (32° 40' latitud sur, 68° 51' longitud oeste y 827 m.s.n.m.). Se emplaza en una zona con características de tierra mediterránea, de clima árido a semiárido, con una fuerte amplitud térmica. En la figura 1 se presentan las temperaturas medias mensuales que indican inviernos severos, donde la necesidad de calefacción es inminente.

---

<sup>1</sup> Becaria Doctoral Tipo II-CONICET

<sup>2</sup> Investigador Independiente- CONICET

<sup>3</sup> Arquitecta

Las precipitaciones son reducidas, marcando 218 mm anuales, con un mayor porcentaje de incidencia en la época estival. Otra característica fundamental es la intensa radiación solar, (alta heliofania relativa, 62% media anual), con un cielo marcadamente sin nubes en la mayor parte del año. En la figura 2 es posible observar estos niveles de radiación global sobre plano horizontal diario promedio mes a mes y los valores correspondiente para radiación difusa.

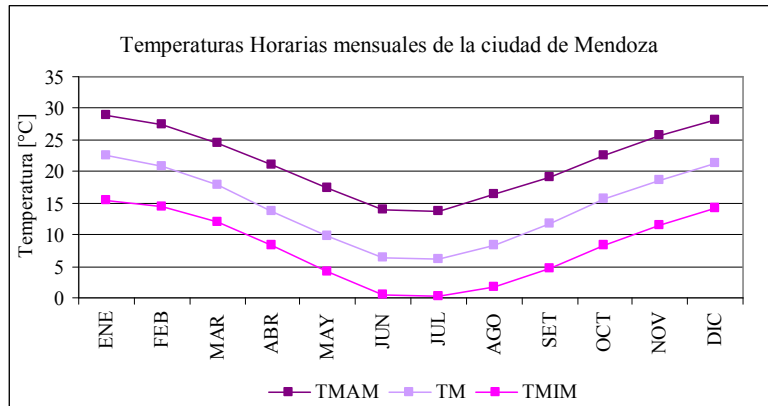


Fig. 1: Temperaturas promedio mensuales para la ciudad de Mendoza.

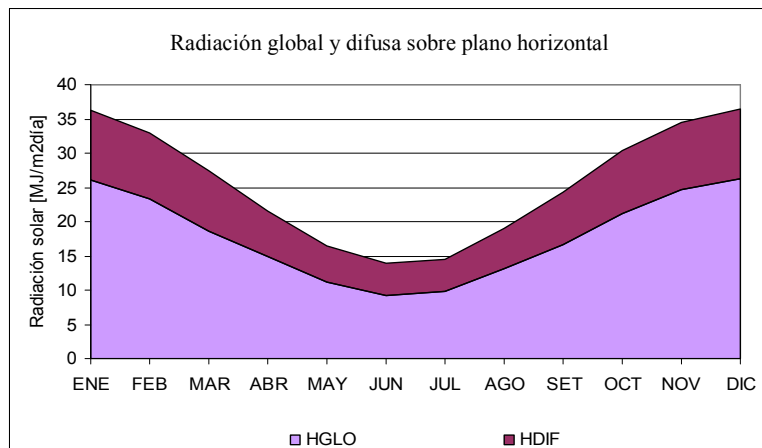


Fig. 2: Valores promedio mensuales de radiación global y difusa sobre plano horizontal.

Es fácil advertir que las condiciones climáticas que se presentan en la ciudad y en su periferia son adecuadas para la utilización de estrategias bioclimáticas basadas en el aprovechamiento de la radiación solar y la integración de sistemas solares pasivos.

## PROYECTO

En respuesta a la orientación del terreno se realizó un esquema lineal este-oeste, previendo la orientación de la mayor cantidad de espacios hacia el norte. El proyecto total de la vivienda es de 183 m<sup>2</sup>, consta de 3 dormitorios, cocina-comedor, sala de estar, sala de juego y dos baños. La vivienda se articula entre dos patios uno anterior y otro posterior, en relación a la distribución de la vivienda en el lote. Es posible considerar a la vivienda de tipología abierta, con galerías como espacios de transición exterior-interior. En la figura 3a, se observa la planta del proyecto completo de la vivienda.

Por razones económicas la vivienda se proyectó para ser construida en etapas. En la primer etapa se construyeron los ambientes de cocina-comedor, dormitorio principal, paso y baño, alcanzando los 60m<sup>2</sup> de superficie cubierta. En la figura 3b se presenta la planta de la etapa construida hasta el momento.

En las figuras subsiguientes 4a y 5a se muestran las fachadas principal y norte del proyecto completo. Las figuras 4b y 5b presentan las fachadas de la parte construida hasta la fecha, principal y norte respectivamente.

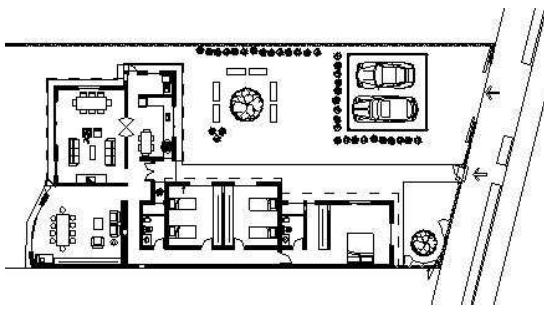


Fig. 3a: Planta proyecto completo

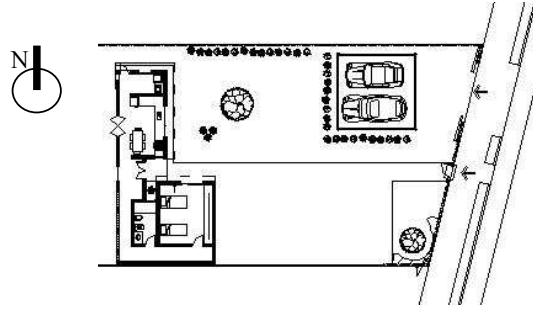


Fig. 3b: Planta-etapa construida

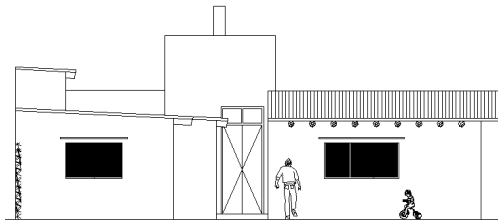


Fig. 4a: Fachada principal completa

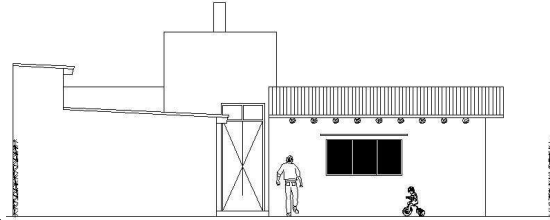


Fig. 4b: Fachada principal-etapa construida

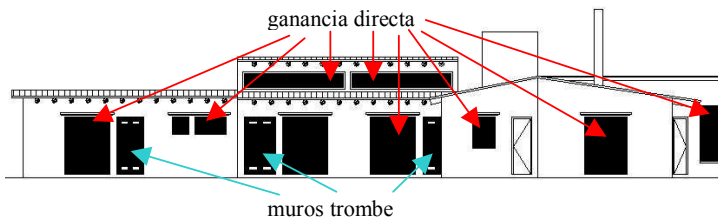


Fig. 5a: Fachada norte completa

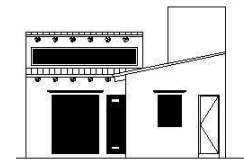


Fig. 5b: Fachada norte-etapa construida

### Tecnología de Construcción Adoptada

El sistema constructivo utilizado fue el tradicional para muros: ladrillón y revoques por el interior y exterior. Para los techos se utilizó una cubierta liviana, compuesta por caña en forma de cielo raso, polietileno de 100 micrones para la barrera de vapor, aislación de poliestireno expandido (espesor 50 mm), cemento alivianado para pendiente de techo y por último membrana asfáltica. Figura 6.

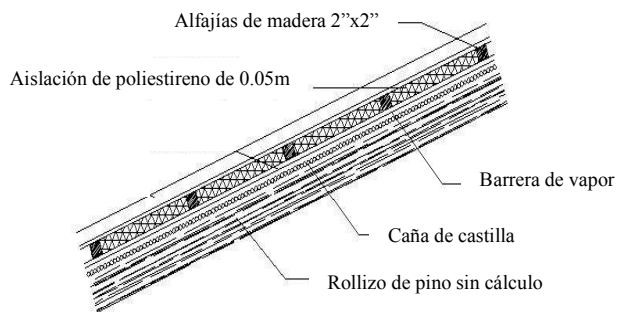


Fig. 6: Detalle constructivo de la cubierta de la vivienda.

## Estrategias Bioclimáticas Adoptadas

Si se contempla al edificio como un sistema integrado, y se le incorporan tecnologías que mejoren la calidad “térmica”, reacciona todo el sistema, ocasionándose ahorros de energía, que generan un ahorro económico, que amortiza el costo inicial derivado de su implementación. (Verstraete et al 1993).

Las estrategias bioclimáticas utilizadas para el proyecto fueron muros Trombe, ganancia directa (especificados en la figura 5a) y aislación térmica. En la etapa construida del proyecto se pueden observar todas las estrategias, detallándose a continuación:

El muro Trombe es una pared de almacenamiento térmico, la temperatura en el ambiente puede mantenerse confortable a través de gran parte del invierno sin ninguna fuente de calefacción adicional (Mazria, 1983). Además de una corriente de aire caliente que ingresa a la habitación durante las horas de sol por medio de las ventanillas superiores del muro. Por las ventanillas inferiores y por diferencia de presión extrae el aire frío de la habitación. En la figura 7 se presenta un esquema de esta estrategia y fotos del exterior e interior del muro construido. En esta última se pueden observar las puertas de apertura de las ventanillas, encontrándose abiertas por tratarse de un día de invierno a primeras horas de la tarde.

Cuando mayor sea la absorción de energía solar en la cara exterior del muro Trombe, mayor será la temperatura en la cara exterior del mismo y consecuentemente mayor será la transmisión de calor a través de la pared hacia el espacio interior. Una pared oscura de color negro, con absorción solar del 95%, es uno de los captadores de mejor rendimiento (Mazria, 1983). Se considera importante que, en la elección de un color, se considere en la misma medida la importancia y el deseo de las personas que van a habitar el espacio. En acuerdo con los propietarios de la vivienda se pintaron marrones, aceptando que su absorptividad sería menor (0.7), pero aunando con sus consideraciones estéticas.



Fig. 7: Esquema del muro Trombe y fotografías del muro construido en la vivienda.

Se consideró también la utilización de aislación térmica en los elementos opacos verticales. De esta forma se obtiene una reducción de la conductancia y consecuentemente una reducción en el intercambio global de energía del elemento. La elección del espesor óptimo de la aislación térmica, considerado desde el aspecto térmico y técnico, se realizó en función del cuarto nivel propuesto a la norma IRAM 11605 (Mercado y Esteves, 2005), siendo de 0.05m de poliestireno expandido lo requerido. En la figura 8 se presenta el detalle constructivo de la aislación sobre el muro.

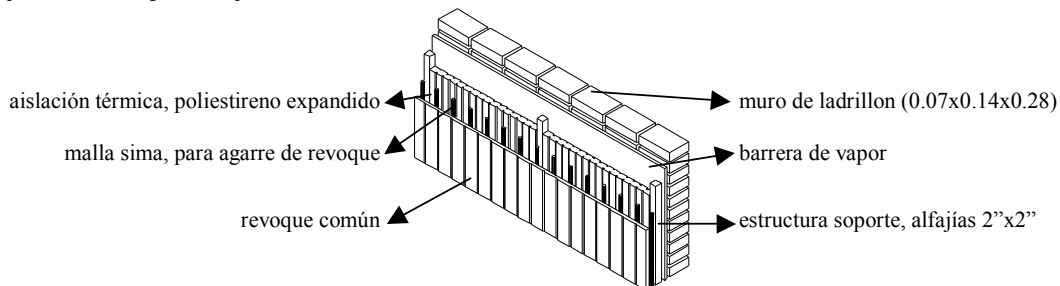


Fig. 9: Detalle constructivo de la aislación térmica.

La aislación se colocó por el lado exterior del muro, conteniendo hacia el interior los elementos macizos para utilizarlos como masa térmica y explotar las propiedades de inercia térmica que poseen los muros de ladrillo. En relación a la clasificación que realiza Goulding et al (1994) se considera esta masa como secundaria, debido a que no se encuentra directamente expuesta a la ganancia solar directa.

Tomando en consideración el proyecto, la etapa construida resulta un edificio de 60 m<sup>2</sup> cubiertos. Las estrategias de conservación de energía fueron las siguientes: techos totalmente aislados térmicamente con un K resultante de 0.67 W/m<sup>2</sup>.°C; muros por 128 m<sup>2</sup> aislado térmicamente con 50 mm de poliestireno expandido (k resultante = 0.64W/ m<sup>2</sup>°C). La superficies de los sistemas solares pasivos son de: a) ganancia directa 7.1 m<sup>2</sup> , muro Trombe 2.2 m<sup>2</sup>.

## EVALUACIÓN Y RESULTADOS

La evaluación térmica de la etapa construida se llevó a cabo con mediciones *in-situ* de temperatura con dataloggers HOBO, con un intervalo de tiempo de 15 minutos para un período de 13 días (24 de julio de 2009-05 de agosto de 2009). La toma de registros se realizó en los ambientes construidos:

- en la cocina alejado del artefacto
- en el paso en sombra, es decir fuera del alcance de la radiación directa que ingresa
- en el dormitorio principal
- en la ventanilla superior del muro trombe, donde se utilizó un dataloggers HOBO con termocupla tipo T
- en el exterior del edificio en sombra

En la figura 8 se presentan fotografías de la vivienda y ubicación de los sensores.



Fig. 8: Fotografías de los ambientes de la vivienda y colocación de sensores, 1- cocina-comedor; 2-paso; 3-dormitorio y muro trombe; 4 exterior de la vivienda

### Situación Térmica

En la figura 10 se presentan los datos medidos en la vivienda en los espacios antes mencionados. El rango de confort se establece entre los 18°C y 25° para el período diurno, ya que para la noche este rango puede bajar hasta los 16°C debido a que las personas se proveen de una mayor cantidad de ropa (ropa de cama= 2clo) (Givoni, 1991).

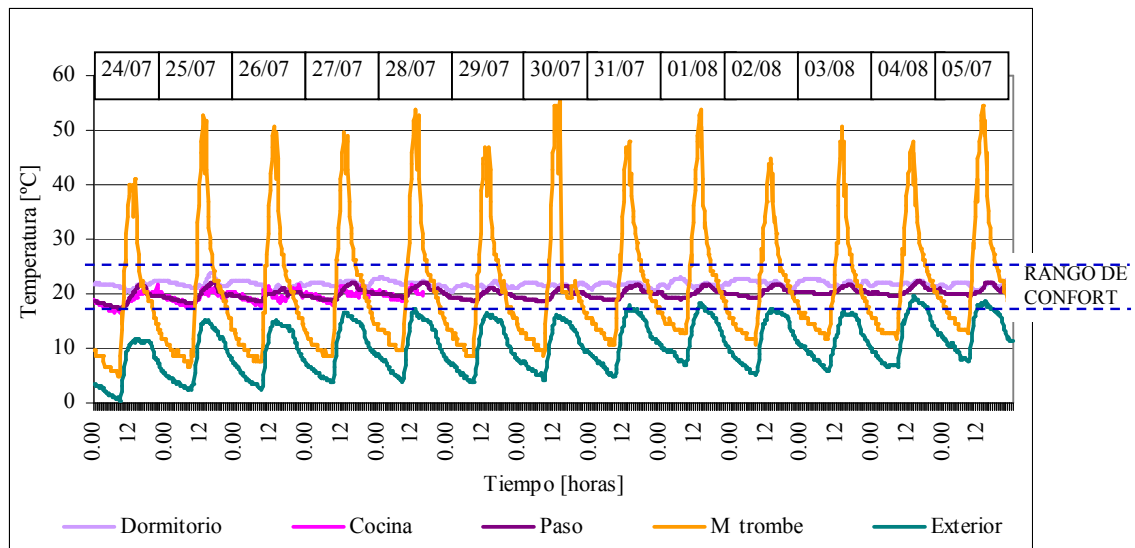


Fig. 10: Temperaturas registradas en la vivienda en el periodo invernal del año 2009, durante los días 24 de julio al 5 de agosto

Se destaca que la vivienda permanece dentro del rango de confort durante todo el período de mediciones, contrastando con las condiciones rigurosas que presenta el exterior. Las temperaturas exteriores marcan una amplitud térmica de 12°, llegando a mínimas promedio cercanas a 5°C y máximas promedio de 16°C.

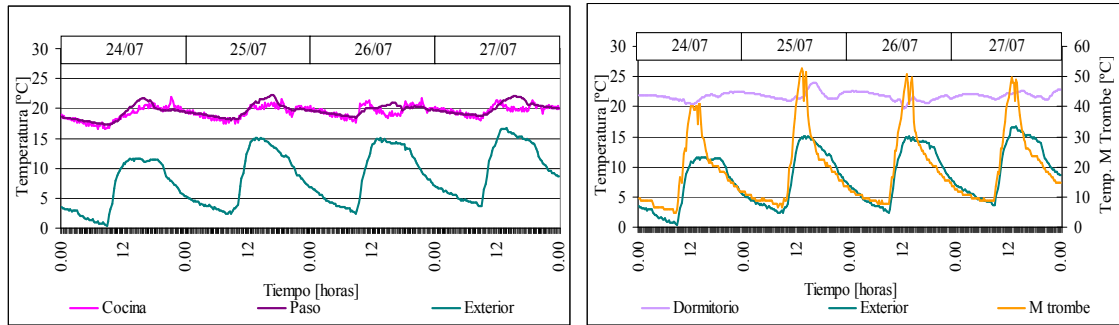


Fig. 11: Temperaturas registradas para cuatro días tipo, a)cocina, b)dormitorio, paso y muro Trombe.

En la figura 11 es posible observar que la situación interior de la vivienda se aleja de este fenómeno. Se presentan situaciones térmicas diferentes en cada espacio. En el ámbito de la cocina, la variación térmica es más oscilante. Esto se supone como consecuencia de que este espacio no posee ganancia directa de la orientación norte. La condición del paso se presenta en similar situación a la cocina, sin embargo su amplitud difiere hasta 1.5°C con la primera.

En la tabla 1 se presentan valores obtenidos de la desviación estándar para la temperatura media interior de toda la vivienda, siendo menor a 3°C. Mientras la desviación se asienta cerca de este valor para las horas del día, se aprecia que para las horas de la noche esta se sitúa por debajo de 2°C. Esto permite concluir que la vivienda se aleja de la variación térmica exterior amortizando la amplitud térmica interior.

Temperatura media interior diaria [°C]	Desviación Estandar
20.1	2.2
Temperatura media interior diurna (9:00hs-18:00hs) [°C]	Desviación Estandar
20.1	2.9
Temperatura media interior nocturna (19:00hs-8:00hs) [°C]	Desviación Estandar
20.4	1.4

Tabla 1: Temperaturas medias interior y desviación estándar, diarias, diurnas y nocturnas, sobre la base de cuatro días tipo (24/07 al 27/07)

La situación del dormitorio se considera de mayor estabilidad. Se destaca que mientras la temperatura desciende abruptamente en el exterior durante las horas de la noche la temperatura del dormitorio se mantiene sobre los 20°C. Esta condición se considera fuertemente ligada al desempeño del muro Trombe. Se puede observar que en el período diurno el sistema es capaz de proporcionar una importante fuente de calor al espacio contiguo.

### Situación Energética

La etapa construida de la vivienda presenta un Factor de área envolvente-piso (FAEP) de 3.2, es decir existe 3.2m<sup>2</sup> de envolvente por cada m<sup>2</sup> de superficie de piso. Estos valores han sido obtenidos a partir de cálculos realizados con el programa de balance térmico-energético (Esteves et al, 2003).

En la tabla es posible observar los valores de las variables típicas del estudio térmico, es decir: coeficiente neto de pérdidas (CNP), la fracción de ahorro solar (FAS), y el calor auxiliar anual (QAA) necesario para mantener a la vivienda en confort.

Item	Vivienda etapa construida
FAEP	3.2 m2 muro /m2 piso
CNP [W/°C]	271.2
CNP /m2	4.24
FAS [%]	10.8
Calor Auxiliar Anual [Kwh/año]	10351.9
Calor Auxiliar Anual/m2	161.7

Tabla 1a: Resultados balance etapa construida

Item	Vivienda completa
FAEP	2.3 m2 muro /m2 piso
CNP [W/°C]	590.2
CNP /m2	3.2
FAS [%]	25.9
Calor Auxiliar Anual [Kwh/año]	18718.70
Calor Auxiliar Anual/m2	102.29

Tabla 1b: Resultados balance vivienda completa

Al obtener valores de CNP y QAA altos se realizó el balance térmico-energético para el proyecto total de la vivienda. Se observa una disminución considerable en estos ítems tomando la relación por metro cuadrado, tabla 1b. En relación a la FAS se advierte un aumento mayor al 100%, lo que sugiere que la casa, en su proyecto final incorpora exitosamente la energía solar como recurso energético pasivo.

Con el propósito de evaluar el desempeño bioclimático de la vivienda y conocer el ahorro energético que esto mismo conlleva, se realizó el balance para la vivienda en la etapa construida actual y completa, sin la incorporación del sistema de muro Trombe y sin aislación en muros, manteniéndose del mismo modo su configuración y planteo sobre el terreno.

Item	Vivienda etapa construida
FAEP	3.2 m2 muro /m2 piso
CNP [W/°C]	497.0
CNP /m2	7.77
FAS [%]	4.9
Calor Auxiliar Anual [Kwh/año]	20271.0
Calor Auxiliar Anual/m2	316.7

Tabla 2a: Resultados balance etapa construida

Item	Vivienda completa
FAEP	2.3 m2 muro /m2 piso
CNP [W/°C]	944.0
CNP /m2	5.2
FAS [%]	<b>16.8</b>
Calor Auxiliar Anual [Kwh/año]	33633.40
Calor Auxiliar Anual/m2	183.79

Tabla 2b: Resultados balance vivienda completa

Es posible observar, a partir de la comparación de las tablas 1 y 2, que en los dos casos la vivienda con estrategias bioclimáticas reduce hasta un 50% el consumo de energía auxiliar. La FAS se ve favorecida aumentando su valor en un 60% para la etapa construida actualmente y en un 40% para el proyecto global.

## CONCLUSIONES

Se presenta una vivienda que fue diseñada desde los conceptos del bioclimatismo: aprovechamiento de la energía solar, adecuación al clima y topografía de inserción y conservación de energía.

La situación térmica de la vivienda construida presenta estabilidad dentro del rango de confort, manteniéndose entre los 19-22°C durante las 24 horas. Además se destaca que la amplitud térmica interior no supera los 5°C en ningún local. Por otra parte las asimetrías radiantes entre locales no superan los 3°C, lo que representa que la situación se encuentra dentro de los estándares de la norma ISO 7731.

La FAS para el proyecto completo alcanza el 25%, sin embargo se considera un valor relativamente bajo en relación al área de ganancia orientada hacia el Ecuador. Esto se supone como consecuencia de un proyecto que se abre en su parte de dormitorios y se cierra en la parte de actividad social, lo que implica que cerca del 50% de la superficie de la vivienda responda a una tipología compacta y no abierta como responde el resto. Asumiendo en esto una pérdida significativa de fachada norte potencialmente colectora.

Se advierte que la vivienda con la incorporación de estrategias bioclimáticas reduce el consumo de energía auxiliar hasta un 50% en relación al consumo que tendría la vivienda sin estos sistemas. Por medio de estos resultados es posible afirmar los beneficios de los sistemas solares pasivos utilizados conjuntamente a la importancia de conservar la energía ganada, ya sea solar o convencional.

## REFERENCIAS

- Balcomb, J.D., Barley, D., McFarland, R., Perry, J., Wray, W., Noll, S. (1982) Passive Solar Design Handbook. Vol.1,2 y 3. United States Department of Energy.
- Ganem C., Esteves A. y Esteves F. (2005) Arquitectura bioclimática urbana. Posibilidades de la tipología de medio patio para la adaptación de estrategias pasivas de invierno. AVERMA Vol.9 pp.5.43-5.48
- Esteves, A., Gelardi, D. (2003) Docencia en Arquitectura Sustentable. AVERMA Vol.7 pp.10.31-10.34.
- J. Goulding, J. O.Lewis, T. Steemers (1994) Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook. C.E.C.
- Lavigne P. (2003). Arquitectura Climática. Una construcción al Desarrollo Sustentable. Tomo 1. Ed. Universidad de Talca. Chile
- Givoni B. (1976). Man, Climate and Architecture. Segunda Edición.
- Mazria E. (1983). El libro de la Energía solar Pasiva, pp. 156-174. G: GILLI, México.
- Verstraete, J.; Vilapriño, R.; Esteves, A., Evaluación Económica de Conservación de Energía y Estrategias de Diseño Bioclimático 1993

**ABSTRACT:** Bioclimatic housing design meets the expectations of improving the quality of the building in an environmental sense. The main objective of this study is to review and evaluate the response of housing and the technologies used as part of a thermal design and energy efficient. The first phase of housing built consists of kitchen / dining room, bedroom and bath step. The construction system used was the traditional ladrillón with plaster walls and ceilings are used to cover light. Bioclimatic strategies used were: energy conservation and solar gain directly and indirectly. An assessment was made with thermal-energy in-situ measurements and energy balance method with the RCC / FAS. The situation presents thermal stability within the comfort range, remaining between 19-22 ° C. Be warned that the housing with the addition of bioclimatic strategies reduces energy consumption up to 50%.

**Key Word:** Bioclimatic architecture, energy conservation, bioclimatic strategies

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores agradecen a los propietarios de la vivienda por permitir la realización de las mediciones y por los datos prestados para la elaboración del presente trabajo.