

## COMPORTAMIENTO TERMICO-ENERGETICO DE ENVOLVENTE DE VIVIENDA EN S. M. DE TUCUMAN EN RELACION A LA ADECUACION CLIMATICA

**CECILIA MARTINEZ**

Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente CEEMA, IAA, Fac. de Arquitectura, Univ. Nacional de Tucumán  
Av. Roca 1900, S.M. de Tucumán, CP 4000, Tucumán - Web [www.herrera.unt.edu.ar/fauunt/ceema/inicio.htm](http://www.herrera.unt.edu.ar/fauunt/ceema/inicio.htm)  
Teléfono (54) (381) 4364093, interno 125 - Fax 54 381 4364141 – E mail [cmartinez@herrera.unt.edu.ar](mailto:cmartinez@herrera.unt.edu.ar)

**RESUMEN:** Se exponen algunos resultados obtenidos de estudios de comportamiento térmico-energético realizados sobre la envolvente de edificios de vivienda, construidos en la ciudad Capital de la Provincia de Tucumán y alrededores, zona de clima cálido-húmedo en verano e inviernos atemperados. El objetivo fue determinar el comportamiento térmico-energético de uno de los tipos constructivos de cerramiento exterior de uso más frecuente, tanto en obras públicas como privadas, a fin de verificar su adecuación al clima local y su efectividad para brindar condiciones de confort y a partir de los resultados, determinar algunos de los aspectos importantes a tener en cuenta en el momento de tomar las decisiones de diseño que afectarán de forma fundamental el comportamiento térmico global del edificio.

Se utilizó un programa computacional para el cálculo del coeficiente de transmitancia térmica y una planilla de cálculo para los balances energéticos de la envolvente exterior para diferentes orientaciones considerando un régimen periódico de variación de temperaturas.

**PALABRAS CLAVE:** Comportamiento térmico-energético, materiales, confort interior, pautas de diseño, vivienda.

**INTRODUCCIÓN:** Las obras, públicas y privadas, destinadas a vivienda componen hoy en día una parte importante de las construcciones desarrolladas en la Provincia, y las viviendas de financiación estatal, destinadas a los usuarios de menor poder adquisitivo, representan el 11% de las viviendas ocupadas en la ciudad de San Miguel de Tucumán y casi el 30% si se consideran las ciudades aledañas del Gran San Miguel (Martinez, 2001).

Las decisiones de diseño y construcción de las viviendas que se realizan sin intervención directa del usuario final, sólo se basan en aspectos económicos de inversión inicial y ganancia posterior, y no toman en consideración los costos energéticos de acondicionamiento artificial que deberán pagarse para poder alcanzar condiciones de confort interior aceptables, los que se incrementan considerablemente si la envolvente exterior no es adecuada al clima del lugar presentando por ello un mal comportamiento térmico-energético, además de problemas como la condensación que deterioran los cerramientos e incrementan los gastos de mantenimiento.

Este aspecto no debería ser desconsiderado en ningún tipo de construcción, especialmente en los emprendimientos de vivienda del Estado, debido a que el gasto de funcionamiento y mantenimiento que generan las mismas posteriormente resultan significativos considerando el presupuesto familiar disponible de la mayoría de los usuarios (Martinez, 2001; INDEC, 2003)

La zona de ubicación geográfica (Fig. 1) presenta un clima mixto, subtropical de veranos cálidos y húmedos con temperatura máxima media superior a los 32°C y HR media máxima de 85%, con vientos S y SO de baja frecuencia y velocidad promedio de 12 Km/h. Temperatura máxima extrema superior a los 40°C entre octubre y febrero. Los inviernos son secos, poco rigurosos, con temperatura media mínima de 6°C y HR media de 65%, vientos S y SO de baja frecuencia y velocidad promedio de 8 Km/h. Temperatura mínima extrema de 0°C entre junio y agosto. Para invierno y verano los cielos se mantienen entre cubiertos y semicubierto la mayor parte del tiempo. El promedio de precipitaciones en verano (dic-ene-feb) es de 148,9 mm y para invierno (jun-jul-ago) de 12,6 mm.

Se exponen los resultados de los estudios de comportamiento térmico-energético realizados sobre una tipología de envolvente exterior de uso muy frecuente en obras de vivienda, multifamiliares y unifamiliares, construidas tanto por entidades gubernamentales como por empresas privadas. Esta envolvente se compone de: - cerramientos verticales de ladrillo cerámico hueco de 0,18 m, ambas caras revocadas con estructura de hormigón armado; - cubierta de chapa de zinc, inclinación de 5°, cámara de aire, poliestireno expandido de 0,025 m y cielorraso de yeso suspendido; - carpinterías metálica con celosías exteriores, que no se consideran como protección efectiva.



Fig. 1: Ubicación en Sudamérica

Los cálculos y simulaciones se realizaron sobre un edificio de vivienda de tres plantas, seleccionado luego de realizar un relevamiento tipológico y constructivo, recabar planos funcionales-constructivos y otros datos pertinentes (Martinez, 2001), así como una evaluación cualitativa de los mismos a través de encuestas a los usuarios (Martinez, 2004) (Fig. 2 y Fig. 3).

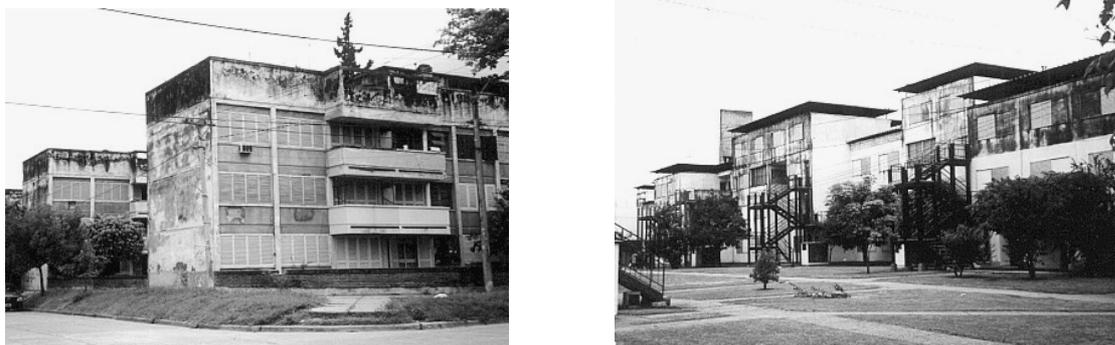


Fig. 2: Tipología común de viviendas construidas en la Provincia: de financiación estatal (derecha) y privada (izquierda)

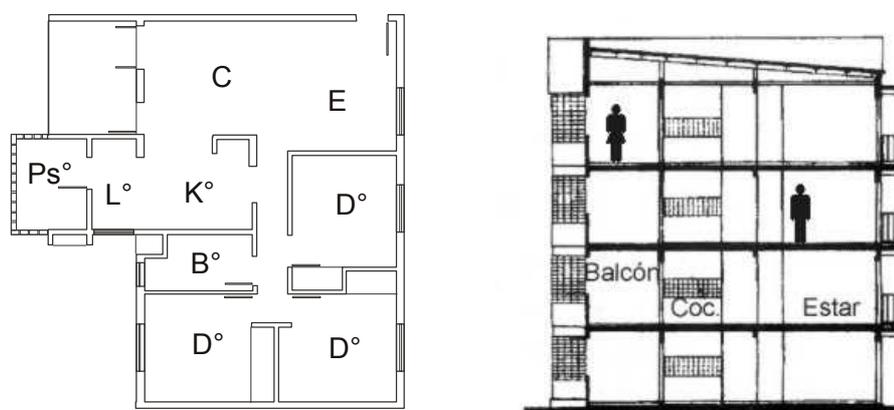


Fig. 3: Planta y corte del prototipo de vivienda evaluada

Se consideró la vivienda del último piso por ser la de condición más desfavorable. Teniendo en cuenta esto y las condiciones del perímetro libre de la misma, considerando las formas de agrupamiento de conjunto más desfavorables, los resultados de los análisis se pueden aplicar también para viviendas unifamiliares aisladas de una planta, con envolvente de características constructivas similares.

Se calculó el coeficiente K de transmitancia térmica de los diferentes elementos componentes del cerramiento exterior, tanto verticales como horizontales, con un programa de computación (Gonzalo, 2003) basado en el procedimiento establecido por normas IRAM. Se compararon los resultados con los tres niveles de confort establecidos: mínimo (C), medio (B) y alto (A), (IRAM, 1996). No se consideró la corrección por color del valor máximo admisible para verano, aunque resulta adecuada según estudios realizados (Volantino y Echeuchory, 2002), debido a que si bien en un principio los colores exteriores eran claros (absorción < 0,6), el paso del tiempo, los factores atmosféricos y la falta de mantenimiento dio como resultado que éstos se oscurezcan (absorción > 0,6).

El balance térmico de las diferentes superficies componentes de la envolvente exterior se realizó por medio de una planilla de cálculo para determinar la carga térmica total (Q) para un régimen periódico de 24 horas, según fórmula de Koenisberger (Ec.1) (Koenisberger, 1977).

$$Q = K x S x [(T_{sam} - T_i) + (\mu x T_{sam\emptyset} - T_{sam})] \quad \text{Ec. 1}$$

K: Coeficiente de transmisión térmica del elemento (W/m<sup>2</sup>K) S: Superficie total del elemento (m<sup>2</sup>) T<sub>sam</sub>: Temperatura sol-aire media (°C) T<sub>i</sub>: Temperatura interior (°C) μ: Amortiguamiento en la transferencia de calor exterior/interior T<sub>sam∅</sub>: Temperatura sol-aire media con ∅ horas de ocurrencia anterior (°C)

Los análisis se realizaron para la vivienda seleccionada considerando cuatro orientaciones: norte, sur, oeste y este, ya que como resultado de los relevamientos anteriores se determinó que las organizaciones de partido se realizan para varias orientaciones a partir de un módulo básico que se rota y yuxtapone (Martinez, 2001) (Fig. 4).

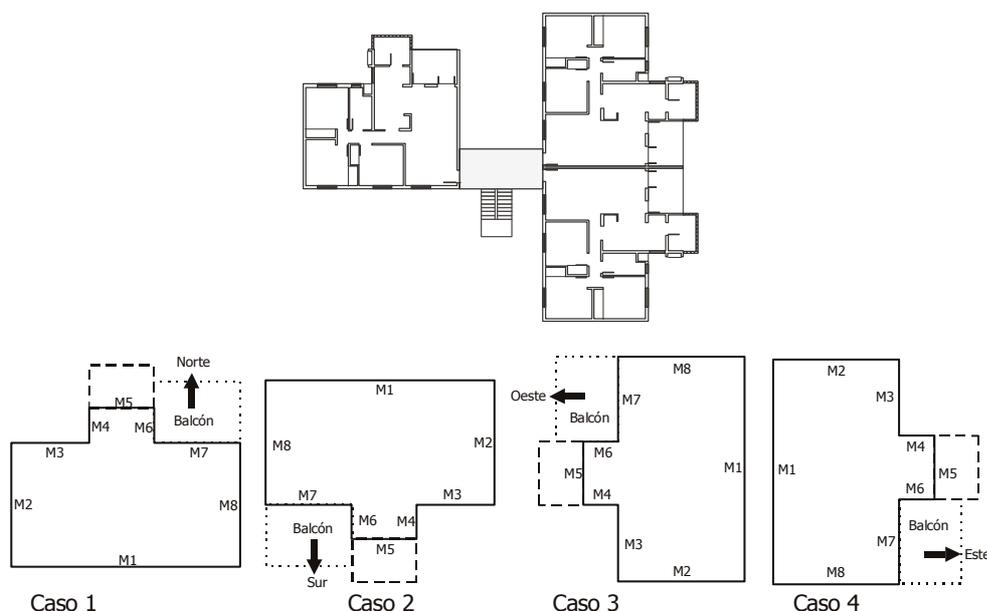


Fig. 4: Módulo básico de agrupamiento y casos de orientación analizados para la vivienda seleccionada

Se calculó un valor de transmitancia térmica medio ponderado (KMP) entre todos los componentes de la envolvente, ya que éste representa con mayor acierto el comportamiento global de un cerramiento de características constructivas heterogéneas. Para la determinación de las temperaturas sol-aire a utilizarse en los cálculos, se definieron los horarios con incidencia de radiación solar sobre paramentos verticales, definidos según la obstrucción correspondiente de cada uno, utilizando el Diagrama de Visión de Bóveda y el de Diagrama de Trayectoria Solar Cilíndrica Desarrollada.

La temperatura interior se estableció en 25°C para verano y 20°C para invierno, determinadas a partir de la fórmula de Aulicien y de la consideración de actividad física y vestimenta según Diagrama de la Comisión of the European Communities (Gonzalo, 2003).

**RESULTADOS:** Se determinó que aunque el muro de ladrillo hueco considerado de forma aislada cumple con el nivel mínimo, los coeficientes de transmisión térmica medio ponderado de los cerramientos, considerados en su composición heterogénea, no verifican ni aun con el nivel mínimo C. La cubierta solo verifica para el nivel C en la condición de invierno (Tabla 1).

La estructura, vigas y columnas, tampoco cumplen con los valores máximos de transmitancia térmica para puentes térmicos, ni con los valores recomendados para aristas constructivas a fin de prevenir problemas de condensación (IRAM, 1996) (Tabla 2).

San Miguel de Tucumán Zona Bioclimática II B													
Valores de transmitancia térmica K y K medio ponderado (W/m <sup>2</sup> °C) de los componentes de la envolvente analizada													
Valores K calculados							Comparación de KMP con los valores de Norma						
							K máx. admisibles Verano			K máx. admisibles Invierno			
Nº	K	K	K	K	K	KMP	Nivel C	Nivel B	Nivel A	Nivel C	Nivel B	Nivel A	
Muro	Muro	Viga	Columna	Puerta	Ventana	Ver-Inv	1,80 *	1,10 *	0,45 *	1,85 *	1,00 *	0,38 *	
Muro 1	1,72	2,97	2,79	2,28	5**	2,42	No	No	No	No	No	No	
Muro 2	1,72	2,97	2,79			1,95	No	No	No	No	No	No	
Muro 3	1,72	2,97	2,79	5,88	5**	2,85	No	No	No	No	No	No	
					5,82#								
Muro 4	2,64	2,97			5,82#	3,52	No	No	No	No	No	No	
Muro 5	2,64			5,88		3,39	No	No	No	No	No	No	
Muro 6	2,64	2,97				2,67	No	No	No	No	No	No	
Muro 7	1,72	2,97			5**	3,49	No	No	No	No	No	No	
Muro 8	1,72	2,97	2,79			1,97	No	No	No	No	No	No	
Cubierta		K máx. admisible Verano			K máx. admisible Invierno			* Valores sin corrección por calor ** Celosías abiertas, protección con cortinas interiores # Sin protección					
		Nivel C	Nivel B	Nivel A	Nivel C	Nivel B	Nivel A						
K (=KMP) Verano		0,72 *	0,45 *	0,18 *	1,00*	0,83*	0,32*						
K (=KMP) Invier.		0,86	0,97	No	No	Si	No	No					

Tabla 1: Valores de transmitancia térmica de los elementos de envolvente exterior analizados y valores de Norma de comparación

Elemento	K calculo (W/m²K)	K Norma (W/m²K)				
		K muro		Puente térmico		Aristas
		Ver	Inv	Ver	Inv	
		1,80	1,85	2,70	2,77	
Viga	3,12	No	No	No	No	No
Columna	2,88	No	No	No	No	No

Tabla 2: Valores de transmitancia térmica para elementos de la estructura

Con respecto al comportamiento energético, entre otras observaciones realizadas podemos considerar:

- El primer aspecto es la influencia de la orientación (Fig. 5) donde se determina que para la orientación sur, Caso 2, la vivienda requiere entre 7% y 8% menos energía para acondicionamiento en comparación con los otros casos.

Si analizamos el requerimiento energético por mes, vemos que la envolvente presenta el mejor comportamiento para todos los meses del año, período cálido y frío, en el Caso 2 con orientación sur (Fig. 6) donde se exponen menores superficies al oeste y este, orientaciones desfavorables en cuanto a la incidencia de radiación solar directa sobre las superficies verticales. Si bien el caso 1 presenta una situación similar de orientación, en éste hay mayor superficie vidriada expuesta al norte sin sombreado efectivo.

Es decir que resulta conveniente un diseño de forma aproximadamente rectangular con su eje mayor orientado E-O, exponiendo las mayores superficies al N y S.

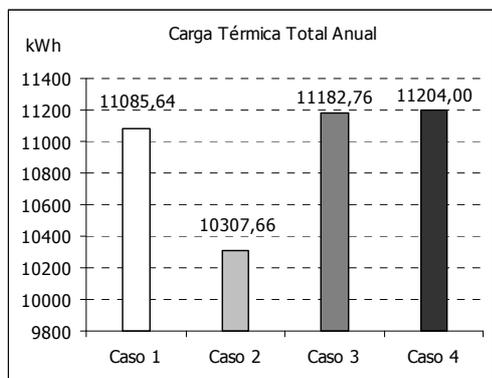


Fig. 5: Requerimiento energético anual

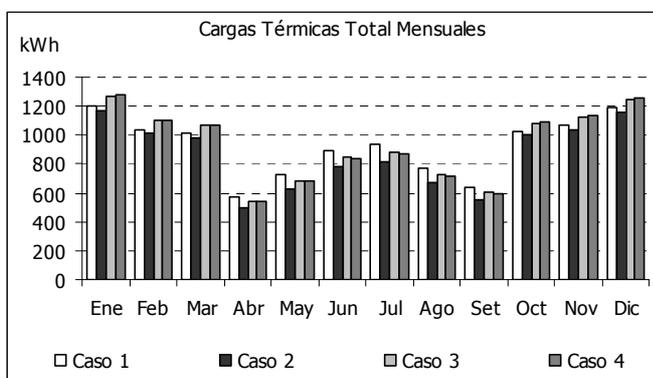


Fig. 6: Requerimiento energético mensual

- En cuanto a los cerramientos componentes de la envolvente exterior, muros y cubierta, vemos (Fig. 7) que el comportamiento de esta última, en verano e invierno, es mejor que el de los muros, requiriendo entre 17% y 27% menos energía para refrigeración y para calefacción entre 90% y 91%. Sin embargo, aunque es el elemento de la envolvente exterior con menor requerimiento energético anual, su comportamiento se podría mejorar, ya que sólo cuenta con 2,5 cm de aislación térmica, como se ha demostrado en estudios anteriores (Gonzalo et al, 2000 a; Gonzalo et al, 2000 b).

Considerando que la cubierta es la misma para todos los casos analizados, es el comportamiento energético de los muros el que marca la diferencia (Fig. 8).

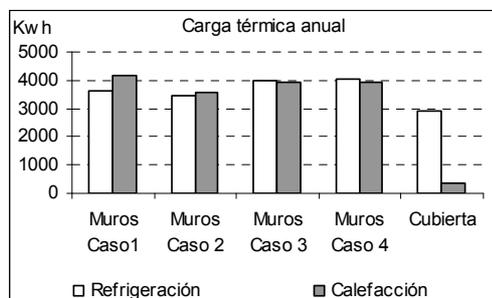


Fig. 7: Requerimiento energético verano – invierno

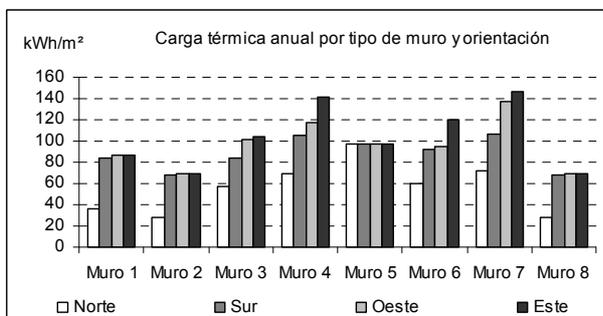


Fig. 8: Requerimiento energético para muros según orientación

Los muros M1 y M2 tienen las mismas condiciones de incidencia solar, pero mientras el Muro 1 presenta un 13,5% de aberturas, el Muro 2 es totalmente opaco. Si comparamos sus comportamientos vemos que el requerimiento energético del segundo es un 19% menor para todas las orientaciones. Si además comparamos lo que sucede con el muro M7, que presenta un sombreado importante por efecto del balcón, pero que tiene una superficie vidriada de un 49%, vemos que el requerimiento energético del mismo es entre el 68% y 103% superior con respecto al muro M1 y entre el 56% y el 152% con

respecto al muro M2, según la orientación considerada. Se evidencia la gran influencia que las superficies vidriadas tienen en el balance energético de las superficies verticales y por ello la necesidad no sólo de disponer de adecuados sistemas de sombreados sino también de considerar la aislación de los muros exteriores, como se analizó ya en otros estudios (Gonzalo et al, 2000 a).

- Si analizamos el gasto probable de acondicionamiento artificial para los cuatro casos analizados, considerando el costo de energía eléctrica, elegido por ser de uso más frecuente tanto para refrigeración como para calefacción según resultado de encuestas (Martinez, 2001) (Tabla 3), tomando como base de comparación el de mejor comportamiento, Caso 2, vemos que en relación al Caso 4, el de peor condición, se incrementa el consumo de energía en un 8,69%. Esto significa para el usuario un sobre gasto de \$ 5000 en un plazo de 40 años de vida útil generado por la simple decisión de orientación del edificio tomada por el proyectista.

Caso	Orientación	Consumo Kwh/año	Costo \$/año	Incremento		
				%	\$/año	\$/40 años
2	Sur	10307,66	1443	-	-	-
1	Norte	11085,64	1552	7,55	109	4360
3	Oeste	11182,76	1566	8,49	123	4920
4	Este	11204,00	1568	8,69	125	5000

Tabla 3: Consumos energéticos y costos de acondicionamiento artificial para los casos analizados

Tomando el Caso 2, el de mejor comportamiento, podemos realizar un análisis simple de costo para la envolvente exterior a fin de lograr un mejor comportamiento térmico-energético de la misma al disminuir su coeficiente de transmisión térmica K (Tabla 4).

Si bien el muro de ladrillo hueco analizado cumple al menos con el nivel C de confort, se demostró en estudios anteriores (Gonzalo et al, 2000a) que resulta conveniente, para lograr una eficiencia energética aceptable y un ahorro económico significativo, disponer una envolvente vertical que alcance al menos el nivel B, considerando no sólo el comportamiento del muro, sino el de todos los componentes constructivos de la envolvente (estructura, aberturas, etc.), es decir un valor medio ponderado de transmitancia térmica (KMP).

Por ello debido a que la influencia de éstos otros elementos resulta relevante, se hace necesario que el muro ofrezca un valor K lo menor posible.

Elemento	Cerramiento	K calculo		K Norma - Nivel de confort				Costo de envolvente			
		V	I	K Verano		K Invierno		Unitario \$/ m <sup>2</sup>	Total \$	Incremento	
				C: 0,72	B: 0,45	C: 1,00	B: 0,83			%	\$
Cubierta analizada	Con 1" de Poliest. Expand	0,86	0,97	No	No	Si	No	115,6	9124,31	-	-
Cubierta propuesta	Con 2,5" de Poliest. Expand	0,38	0,40	Si	Si	Si	Si	121,3	9574,21	4,93	449,90
Elemento	Cerramiento	K cálculo		K Verano		K Invierno		Costo de envolvente			
		V - I		C: 1,80	B: 1,10	C: 1,85	B: 1,00				
Muro analizado	Simple Lad. Hueco 0,18 *	1,72		Si	No	Si	No	70,4	7083,65	-	-
Muros propuestos	Doble Lad. Hueco 0,12 / cám. aire / 0,12 *	1,14		Si	No	Si	No	75,9	7637,06	7,81	553,41
	Doble Lad. Hueco 0,12 / 1" polies. exp / 0,12 *	0,70		Si	Si	Si	Si	79,36	7985,20	12,73	901,55

Tabla 4: Costo de cerramientos analizados y propuestos para mejora del coeficiente K

Para el caso de la cubierta se logra un buen resultado utilizando una aislación de 2,5" en lugar de 1", y el incremento en el costo de la misma es de sólo 4,93%, es decir \$449,90. Se vio en simulaciones realizadas para viviendas tipo FONAVI (Gonzalo et al, 2000 a) que el uso de una aislación térmica de nivel B en cubierta, permitiría ahorrar en refrigeración alrededor de un 23% y para calefacción un 30%.

En el caso del muro es conveniente trabajar con muro doble con aislación térmica interior de al menos 1", lo que permite alcanzar un valor bajo de transmitancia térmica, mejorando así el comportamiento global del cerramiento (KMP). El incremento del costo en este caso, entre ambos tipos de muro, sería de un 12,73%, es decir \$901,55.

En conjunto la inversión necesaria a realizar para construir una envolvente exterior (cubierta y paredes) con mayor eficiencia energética en comparación con la analizada habría sido de un 8,33% sobre el costo original, es decir un incremento de aproximadamente \$ 1351,45 sobre el costo total de envolvente exterior.

Si consideramos por lo analizado en Tabla 3, el costo monetario que se puede ahorrar con solo orientar adecuadamente la vivienda, y a ello le sumamos los ahorros logrados por reducir el consumo de energía que se pueden alcanzar con el uso de colores claros en la envolvente (Gonzalo et al, 2000 a) y con la disposición de efectivos sistemas de sombreado para la aberturas, que eviten el ingreso de excesiva carga térmica a ser eliminada posteriormente, los mayores costos de inversión

que se necesitan para construir una envolvente exterior térmicamente adecuada pueden ser amortizados en un período de tiempo razonablemente aceptable.

**CONCLUSIONES:** Es claro que hay decisiones de diseño que afectan al desempeño térmico-energético de los edificios, como la orientación, la forma o su color exterior, que no pueden ser desconsideradas por los proyectistas, no existiendo argumento válido para no considerarlos e implementarlos, ya que son pautas cuya aplicación no conlleva un aumento del costo de construcción.

Algunas pautas significativas que si aumentan los costos iniciales de construcción son la decisión de utilizar muros dobles aislados en lugar de muros simples y cubierta con mayores aislaciones térmicas, así como disponer de sistemas de protección solar con un efectivo diseño para las aberturas, que garanticen un adecuado funcionamiento para verano, impidiendo la incidencia solar directa y para invierno, permitiendo el ingreso de sol, tampoco deben ser descartadas por razones económicas de reducción de inversión inicial, ya que no se trata de un “gasto” sino de una “inversión”, la que permitirá lograr ahorros importantes en el consumo de energía, amortizando el mayor costo inicial en plazos de tiempo razonables, permitiendo lograr edificios en los cuales disfrutar de condiciones adecuadas de habitabilidad por un período de tiempo mucho mayor al de amortización.

El hecho de que las envolventes edilicias se construyan térmicamente más eficientes no solo permitirá un ahorro en el costo de funcionamiento, sino que también nos proporcionará ambientes interiores sanos, física y psicológicamente, al no tener que desarrollar nuestras actividades diarias en lugares que resultan agresivos, por frío o calor, para nuestro organismo, con lo que se eleva el rendimiento personal y la eficiencia laboral, evitando el llamado Síndrome de Edificio Enfermo.

Una envolvente exterior eficiente también nos permite evitar o retrasar algunos problemas de deterioro que afectan a los cerramientos exteriores, permitiendo una mayor vida útil de las construcciones y exigiendo menores gastos de mantenimiento para las mismas. Y mientras más vida útil tengan nuestras construcciones, en condiciones adecuadas de habitabilidad, mayor es el beneficio que obtenemos al no existir la necesidad de realizar nuevas construcciones, lo que exige una alta inversión energética que se pierde en su mayor parte cuando la misma debe ser demolida antes de cumplir su ciclo de vida útil.

Es así que el incremento monetario necesario a hacer para construir envolventes edilicias con eficiencia térmico-energética, sea vivienda o no, debería ser considerado no como un “gasto de dinero perdido”, sino como una “inversión a mediano y largo plazo”, que siempre nos dará beneficios directa o indirectamente al contribuir a reducir el consumo de energía no renovables y realizar un uso más racional de lo que consumimos.

**ABSTRACT:** These work summaries the results of some thermal behavior studies develop on the ordinary surfaces used on the houses, built on the Capital City in the province of Tucumán and his surrounding, zone with a subtropical climate with hot-wet summers and warm-dry winters.

The objective is to determinate the thermal behavior of a common external surface used in houses, made by public agency and private builders, to verify his efficiency to satisfy appropriate interior comfort levels and, by this, determinate some principal strategies of design than affects directly the thermal behavior of the building.

For this computational programs were used to calculate the U-value coefficients of the external surfaces, and to make the energy balance of the external surfaces of the prototype house in different orientations.

**KEYWORDS:** Thermal behavior, materials, habitability, strategies, houses.

## REFERENCIAS:

Gonzalo G, Ledesma S, Nota V, Martinez C, Cisterna S, Quiñónez G, Márquez G, Tortonese A, Garay A. (2000a). Determinación y análisis de los requerimientos energéticos para el acondicionamiento térmico de un prototipo de vivienda ubicada en San Miguel de Tucumán. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 4. pp. 05.19-05.24. ISSN 0329-5184. Ed. Milor. Salta, Argentina.

Gonzalo G., Ledesma S., Martinez C. y Nota V. (2000b). Evaluación energética y económica del uso de aislaciones térmicas en viviendas. Conferencia Internacional sobre confort y comportamiento térmico de edificaciones. Maracaibo, Venezuela.

Gonzalo G. (2003). Manual de Arquitectura Bioclimática, 2° edición. CP 67, Buenos Aires.

Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (1996). Norma 11605 Acondicionamiento térmico en edificios. Condiciones de habitabilidad en viviendas.

Instituto Nacional de Estadística y Censo (2003). [www.indec.mecon.gov.ar/default.html](http://www.indec.mecon.gov.ar/default.html)

Koenisberger O. (1977). Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Paraninfo, Madrid.

Martinez C. (2001). Análisis del comportamiento higrotérmico de los cerramientos exteriores en viviendas del IPV en San Miguel de Tucumán. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5. Pág. 05.77-05.83. ISSN 0329-5184. Ed. Milor.

Martinez C. (2004). Evaluación cualitativa de condiciones ambientales de viviendas del IPV en S. M. de Tucumán. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8. Pág. 05.01-05.06. ISSN 0329-5184. Ed. Milor

Volantino y Echeuchory, 2002. Evaluación del comportamiento de muros en función de su absorción solar. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol.6, Octubre 2002, pp. 08.97 a 08.102. ISSN 0329-5184. Ed. Milor.