

# 05

## **Eficiencia energética en viviendas sociales.**

Incidencia de la envolvente en el consumo eléctrico para mantener el bienestar higrotérmico en los espacios interiores.



Se expone la evaluación de los requerimientos energéticos para el acondicionamiento electromecánico interior de viviendas de interés social, considerando el comportamiento térmico de diez tipologías de viviendas de operatorias tanto estatales como privadas, modelizado y simulado informáticamente. El objetivo fue evaluar el comportamiento termoenergético, el grado de bienestar de los usuarios y el ahorro de energía producido al materializar la envolvente mediante panelería de madera de bosques cultivados con manejo sustentable del nordeste argentino, con respecto a viviendas de diseño y tecnología convencional de mampuestos en las localidades de Corrientes y Resistencia, además de la incidencia de variables tales como la orientación, la forma y el emplazamiento en la eficiencia energética, y por ende en la eficiencia ambiental de la construcción. Se pretendió analizar la manera en que las modificaciones en el diseño de la envolvente generan importantes diferencias en el consumo energético final de la vivienda y determinar cuáles son las estrategias de optimización de las variables consideradas en el diseño de viviendas ubicadas en una zona bioambiental cálida húmeda. Se registraron consumos de electricidad menores cuando las viviendas de mampostería tradicional reemplazaban estos cerramientos por la panelería de madera tipo sandwich propuesta.

*It is shown here the evaluation of the energy requests for the electromechanical interior conditioning of houses of social interest, considering the thermal behavior of ten types of houses of state and private developments, modelling and simulated by means of specific software. The target was to evaluate the thermal and energetic behavior, the degree of well-being of the users and the saving of energy produced on having materialized the walls that conforming the envelope of the houses with timber sandwich panels of forests cultivated with sustainable management in the Argentine northeast, in comparison with houses of conventional design and technology of bricks, in the cities of Corrientes and Resistencia, and also the incidence of such variables as the orientation, the form and the emplacement in the energy efficiency, and in the environmental efficiency of the construction. There tried to be analyzed the way in which the changes in the design of the houses' envelope, generate important differences in the final energy consumption of the houses, and to determine what are the strategies of improvement of the variables considered in the design of houses located in a warm - humid zone. Lower consumptions of electricity registered when the houses of traditional walls of bricks were replacing these walls by timber sandwich panels proposed.*



#### **Autores**

**Mg. Arq. Herminia María Alfás**

**Mg. Arq. Guillermo José Jacobo**

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Universidad Nacional del Nordeste

Argentina

#### **Palabras clave:**

Cerramientos

Sustentabilidad

Uso Racional de la Energía

#### **Key words:**

*Houses'shell*

*Sustainability*

*Rational Use of Energy*

## INTRODUCCIÓN

Se expone un artículo de reflexión en el cual se presentan resultados de una investigación terminada desde una perspectiva analítica e interpretativa sobre el tema, problema referido al desempeño poco satisfactorio de los espacios interiores de los conjuntos habitacionales de interés social ejecutados a partir del año 1975 en la Región Nordeste de Argentina (NEA) en general y en las ciudades de *Corrientes* y *Resistencia* en particular, en cuanto al nivel de bienestar de sus usuarios en relación a la situación climática regional (muy cálida-húmeda), lo cual produce un alto consumo energético para alcanzar los valores adecuados de confort psicofísico en los espacios interiores.

En las *viviendas sociales* construidas en las ciudades de Corrientes y Resistencia, dos de los principales centros urbanos del NEA, la adecuación climática es un factor que se introduce (en muchos casos) en instancias posteriores al diseño (por parte del mismo usuario), para mitigar así las falencias de los proyectos, y debe recurrirse, en etapa de uso, a la implementación de dispositivos electromecánicos para la adecuación satisfactoria a la situación climática, generándose un continuo y excesivo consumo energético para climatización interior con el fin de alcanzar las condiciones necesarias de habitabilidad en los mismos.

Dado que el problema habitacional es uno de los más importantes en el NEA, desde el punto de vista social resulta fundamental que el esfuerzo por subsanarlo tenga la mayor eficacia y arroje el mejor resultado posible en relación a los recursos a ser invertidos.

Por otra parte, la construcción actual de viviendas utiliza un sinnúmero de materiales cuya fabricación determina un importante impacto ambiental. Las construcciones tradicionales de mampostería son predominantes, de lo que se deduce la importancia de encontrar otras alternativas posibles. En este sentido, adquiere gran importancia la elección de los materiales a emplear en la construcción de dichas viviendas, ya que pequeñas mejoras comparativas que se obtengan en ellos determinan un fuerte impacto, si se considera la gran cantidad empleada en un edificio y de viviendas requeridas cada año. Con relación a esto, se parte del convencimiento de que se deben aprovechar las materias primas abundan-

tes en una zona geográfica, en nuestro caso la madera de bosques cultivados con manejo sustentable, y cuya principal cualidad es su alta potencialidad de utilización en procesos constructivos en sustitución de otras importadas. Los elementos constructivos en madera de bosques cultivados locales del NEA ofrecerían ventajas por su bajo costo, con la incorporación de mano de obra con limitada capacitación en el proceso de construcción, aunque su utilización y mantenimiento requerirían una cuidadosa adecuación a las exigencias de nuestra zona bioambiental.

## OBJETIVO

Se pretendió analizar la manera en que las modificaciones en el diseño y constitución de la envolvente muraria generan importantes diferencias en el consumo energético final de la vivienda y determinar algunas estrategias de optimización de las variables consideradas en el diseño de viviendas ubicadas en una zona bioambiental cálida húmeda.

## JUSTIFICACIÓN – MARCO TEÓRICO

*«El costo de operación de un edificio y el impacto ambiental son directamente proporcionales a la demanda anual de energía, valor usado para comparar alternativas. Sin embargo, las variables de diseño también afectan la demanda energética pico, la cual determina la potencia y el costo del equipo de calefacción y refrigeración»* (Torres y Evans, 1999).

El consumo de energía que supone mantener los ambientes interiores en condiciones de bienestar higrotérmico adecuadas para la región NEA: entre 19° C y 28° C durante todo el año (Jacobo y Vedoya, 2001) es el porcentaje de consumo energético más importante de los edificios y causa uno de los mayores impactos sobre el medio ambiente, ya que se produce durante todo el período de funcionamiento de los edificios, siendo *«la energía requerida para refrigeración el rubro de mayor importancia en la demanda energética de viviendas en verano»* (Evans y De Schiller, 2001).

Por ese motivo, el diseño de esas instalaciones está muy relacionado con el correspondiente al edificio en cuanto a la ventilación, la circulación interior del aire y la tecnología de las envolventes exteriores (muros y techos). Un buen diseño debe permitir un ahorro considerable de energía.

El mantenimiento de condiciones óptimas higrotérmicas en cualquier época del año es esencial para alcanzar el nivel de confort psicofísico en un espacio arquitectónico. Cuando para alcanzar dicha situación de confort es necesario recurrir exclusivamente a equipos electromecánicos de acondicionamiento, se genera una situación de consumo irrestricto de energía que impacta así:

- en la economía familiar, debido a que el monto de ingreso mensual promedio estadístico de la mayoría de los usuarios de las viviendas sociales no superan los \$1200,00 en el NEA, considerando que el costo energético para climatización ronda los \$270,00 (doscientos setenta pesos) mensuales, pues en estas viviendas sociales habita un promedio de 6 personas o más;
- en la economía regional y provincial, puesto que está verificado, como ejemplo de la crisis socioeconómica, que sólo en la ciudad de Corrientes un 40% de los usuarios de la red pública de provisión energética no abona la factura respectiva y consume energía ilegalmente («colgado» de la red pública de distribución domiciliaria);
- sobre el ambiente, debido al mayor consumo de energía final (gas, electricidad, carbón, leña, etc.), cuya generación implica efectos nocivos para el ambiente, y vale comentar que en los últimos veranos 2006-2007 y 2009-2010 se superó el valor record de consumo energético a nivel nacional y particularmente a nivel regional en los principales centros urbanos;
- en la macroeconomía nacional, pues se consume cada vez más energía eléctrica generada con recursos fósiles no renovables (gas natural y petróleo) mientras que se debe importar actualmente el gas natural y las reservas de petróleo nacional no superarán la próxima década debido al agotamiento de las reservas existentes, sin nuevas exploraciones.

Por lo tanto, es necesario optimizar el consumo energético en la edificación por medio de un mejoramiento sustancial de las condiciones higrotérmicas de las envolventes constructivas (muros y techos) del objeto arquitectónico.

## **METODOLOGÍA**

Se planteó como hipótesis que la adecuación climática en la etapa inicial del proceso de diseño de viviendas sociales para centros urbanos del NEA, como Corrientes y Resistencia, así como el uso de materiales alternativos a los actualmente prevalecientes, permitiría alcanzar el confort higrotérmico con menor consumo energético en las unidades habitacionales que el actualmente requerido.

Tras una primera etapa introductoria, de relevamiento y recopilación de datos respecto de la situación real de viviendas de interés social ampliamente difundidas (tanto a través de operatorias oficiales como de iniciativas privadas) en las dos ciudades de referencia y su sistematización mediante fichas y planillas en una Base de Datos, se pasó a una segunda etapa, operativa, en la que se definieron como Unidades de Análisis (UA) diez (10) tipologías de viviendas de interés social implementadas masivamente en Corrientes y Chaco (ver Tabla 2), correspondientes a diferentes períodos, desde el año 1970 al 2000 (Alfías, 2003), y se aplicaron a dichas UA los siguientes procedimientos:

1. Verificación de muros y techos de la envolvente edilicia de las UA con la normativa IRAM de habitabilidad higrotérmica (11601 / 11605 / 11625 / 11630) referente a transmitancias térmicas y riesgo de condensaciones invernales, como punto de partida para dar un pantallazo general de la calidad constructiva a nivel higrotérmico de las viviendas producidas.
2. Modelización de las UA y simulación informática del comportamiento térmico de las UA mediante software específico (Quick II, software que permite obtener tanto los valores de cargas térmicas necesarias para mantener la situación de confort con medios mecánicos –equipo de aire acondicionado–, como las fluctuaciones de temperatura en el interior de la vivienda en caso de no existir medios mecánicos de acondicionamiento). Mediante estas simulaciones también se pretendió estimar el ahorro que se obtendría en el consumo de energía eléctrica para acondicionamiento ambiental aplicando materiales alternativos en la envolvente muraria así como modificando pautas de implantación y forma de la edificación.

3. Monitoreo experimental *in situ* del comportamiento térmico de las viviendas definidas como UA. Procesamiento y análisis de los datos experimentales y validación (determinación del grado de ajuste entre los valores obtenidos mediante la aplicación del programa informático y los valores experimentales monitoreados en los prototipos construidos).

Como tercera y última etapa, se definieron los factores que influyen en el consumo energético edilicio y las variables que a su vez influyen sobre estos factores y se plantearon algunas pautas y recomendaciones de diseño energéticamente optimizado en función de la habitabilidad y el confort humano.

## RESULTADOS

### Parámetros de habitabilidad según normativa IRAM de desempeño higrotérmico

Se advierte en general un bajo nivel de habitabilidad higrotérmica, sobre todo en lo referente a valores de transmitancias térmicas «K», y los valores obtenidos son muy altos, lo que sitúa a los componentes analizados en un nivel C (mínimo aceptable, según la categorización propuesta por la Norma IRAM 11605/96) cuando no fuera de toda categoría por ser demasiado altos (ver Figs. 1 y 2). Sólo en casos aislados se presentan niveles medios (B).

En los muros de cerramiento analizados, que incluyen a soluciones de madera y soluciones cerámicas habituales de mampuestos, los valores de «K» no superan los 2 W/m<sup>2</sup> C, excepción hecha de los tres casos de

peores condiciones detectados en que dicho valor casi se duplica (Plan Cero, Scoro y Laguna Seca) correspondientes, los dos primeros, a soluciones de madera de una sola hoja de madera machimbrada, sin ningún tipo de aislación térmica, y el tercero a un caso de muro de bloques de hormigón revocado en ambos paramentos. En general, las soluciones de madera analizadas resultan de un diseño tecnológico muy precario y el criterio dominante parece haber sido utilizar la menor cantidad posible de material. Aún así, se vislumbra que la madera posee, comparativamente con otros materiales, como los mampuestos, valores mucho más bajos de transmitancia térmica, lo que la hace más aislante.

La normativa IRAM, a la luz de la cual fueron analizados los componentes de las UA, no es de aplicación obligatoria para el sector privado, al cual corresponden varias de las viviendas analizadas, pero sí lo es para el sector oficial.

### Simulación de consumos de electricidad para climatización con equipos electromecánicos

Las simulaciones de desempeño térmico se llevaron a cabo con el software Quick II (*A passive thermal design tool and load calculation computer program. Transfer of energy mass and momentum*, Sudáfrica, 1997), para distintas variantes de material de la envolvente de las UA, así como para diversas condiciones de orientación de las mismas, obteniéndose los valores de cargas térmicas necesarias para mantener la situación de confort con medios artificiales y las fluctuaciones de tempera-

Porcentaje de techos en cada categoría de construcción (IRAM 11605/96)

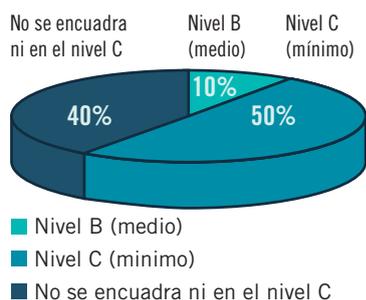


Figura 1 | Resultados de la aplicación de normativa de habitabilidad (IRAM 11605/96) a techos de las UA.  
Fuente: ALÍAS, Herminia M. y JACOBO, Guillermo J. Elaboración propia.

Porcentaje de techos en cada categoría de construcción (IRAM 11605/96)



Figura 2 | Resultados de la aplicación de normativa de habitabilidad (IRAM 11605/96) a muros de las UA.  
Fuente: ALÍAS, Herminia M. y JACOBO, Guillermo J. Elaboración propia.

tura en el interior de las viviendas en caso de no existir medios mecánicos de acondicionamiento térmico. Para la aplicación del software, cada vivienda o UA se dividió en dos zonas operativas: dormir y estar. El programa debió cargarse con datos edilicios teóricos de los prototipos de vivienda tomados como unidades de análisis (materiales de cubiertas, pisos y muros y sus respectivos coeficientes de conductividad térmica, densidad y calor específico) y datos climáticos (temperatura, humedad relativa, radiación solar total o global y difusa) de las localidades de implantación medidos en forma horaria, para el día de diseño del período cálido y para el día de diseño del período frío. El programa realiza un análisis de temperaturas, humedad relativa y de cargas para cada zona y luego las combina. El cálculo estacionario de cargas se lleva a cabo sobre la base de los consumos de un equipo de acondicionamiento térmico con control de temperatura y humedad. Se definió una familia tipo de cinco miembros, con un patrón de comportamiento estándar: grado de permanencia en las distintas zonas a cada hora del día y clase de vestimenta y de actividad en cada hora del día (Blasco et al., 2000), lo que se utilizó para las simulaciones de todos los casos con el fin de obtener una base homogénea de comparación. También se definió una base homogénea de cargas internas (calor convectivo, radiativo y latente generado en cada zona por las luminarias y electrodomésticos de uso común en una vivienda tipo). Asimismo, fue tenida en cuenta la ventilación natural en cada prototipo a través del ingreso al programa de los datos de las aberturas de cada orientación y su estado (abierta o cerrada) en cada hora del día de diseño cálido y frío, para lo cual fue necesario ingresar previamente los datos de velocidad del viento y dirección del mismo para cada hora en la localidad de implantación.

Las condiciones mínimas de confort o condiciones de habitabilidad se fijaron para todos los prototipos analizados según rangos usuales para la región y según consideración de datos de temperaturas de diseño medias definidas en la Norma IRAM 11603/96 para Corrientes y Resistencia: para Verano: 22° C y 60% HR; para invierno: 18° C y 65% HR (Alías y Jacobo, 2004). Las superficies verticales se diferenciaron en los muros del interior de la vivienda y los exteriores, según el tipo de materiales utilizado en cada tipología.

#### **Orientación**

Se realizaron los cálculos considerando las viviendas en cuatro orientaciones distintas de la fachada, rotando el edificio 45° por vez. Así, para cada prototipo se efectuaron simulaciones para: Fachada Norte - Fachada Este - Fachada Sur y Fachada Oeste. Todos los prototipos se consideraron en una situación de implantación en perímetro libre y, si bien esto resulta ficticio en el caso de las viviendas tradicionales, es la circunstancia real de las viviendas de madera tomadas como UA. Esta condición fue unificada a efectos de fijar una situación de partida homogénea para la comparación.

#### **Materiales de la envolvente**

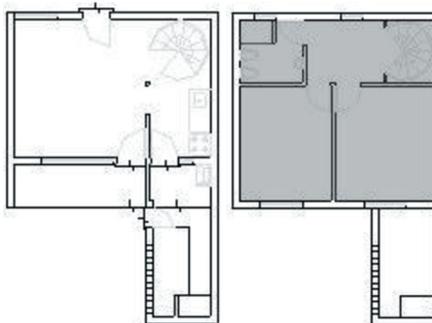
Se efectuaron las simulaciones de desempeño térmico y consumo eléctrico de cada UA para dos situaciones de materialización de sus envolventes murarias: por un lado, la situación real de cada vivienda y, por el otro, una situación ficticia considerando a las viviendas cuya envolvente vertical se materializa al modo «habitual» como reemplazada por una panelería de madera de bosques cultivados con manejo sustentable del Nordeste argentino (Depto. de Ituzaingó, Ctes.) compuesta, del exterior al interior, por:

- un revestimiento exterior (siding de pino elliotti impregnado de 1») y una cámara de aire débilmente ventilada dejada por las clavadoras del siding , de 11/2»);
- el panel propiamente dicho, consistente en un sandwich de machimbre pino (1/2»); poliestireno expandido (75 mm) y machimbre pino (1/2») al interior.

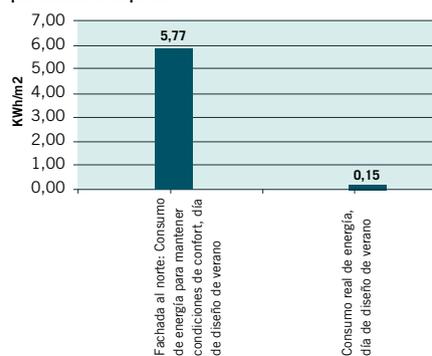
Para la cubierta, en cada caso se consideró la materialización real del prototipo.

Se realizaron, para cada UA, varias simulaciones térmicas computacionales, y se determinó la energía necesaria para lograr y mantener la situación de confort previamente definida en el interior de los ambientes de dichas viviendas. Se compararon los consumos de energía para alcanzar el confort en verano por medios artificiales (enfriamiento) y en invierno (calefacción), por día típico del período cálido y del período frío. Sobre la base de la información extraída de las facturas bimestrales y mensuales proporcionadas por usuarios

VARIABLES SITUACIONALES		VARIABLES RELACIONALES	
<b>Estrategias de localización</b>		<b>Estrategias tipológicas</b>	
Localidad: <b>Corrientes, Cap.</b>		(zonificación en base a la distribución interior de funciones)	
Zona Bioambiental: <b>la (cálida húmeda)</b>		<b>Zona Estar (incluye cocina)</b>	
Latitud Sur: <b>27°54'</b>		<b>Zona Dormir (incluye baño)</b>	
Temperatura Base: <b>18°C</b>		No se incluyen en la simulación electrónica las estancias exteriores semicubiertas, como galerías, aunque sí se incorpora el efecto de dichas estancias en el sombreado de la envolvente exterior.	
Grados días: <b>56 - 262</b>			
VIVIENDA: <b>Barrio Laguna Seca</b>			
EMPLAZAMIENTO: <b>Zona sudeste de la ciudad</b>			
VÍNCULO CON EDIFICIOS CONTIGUOS:			
<b>Perímetro libre (situación ficticia)</b>			
ORIENTACIÓN: <b>Ver planta adjunta</b>			
Nº DE OCUPANTES: <b>5 personas</b>			
<b>VARIABLES GEOMÉTRICO - CONSTRUCTIVAS</b>			
SUPERFICIE CUBIERTA (m²):			
Planta Baja	<b>24,92</b>		
Planta Alta	<b>31,3</b>		
SUPERFICIE SEMICUBIERTA (m²):			
Planta Baja	<b>6,43</b>		
Planta Alta			
SUPERFICIE DE LA ENVOLVENTE (m²): <b>143,35</b>			
Techo	<b>31,35</b>		
Muros	<b>112,00</b>		
ALTURA MEDIA DE LOS LOCALES (m):			
<b>2,6</b>			
VOLUMEN (m³): <b>146,31</b>			
Planta Baja	<b>64,80</b>		
Planta Alta	<b>81,51</b>		
FACTOR DE FORMA (sup. envolvente/volumen) (1/m): 143,35/146,31			
<b>0,98</b>			
<b>Estrategias tecnológicas</b>			
MUROS: Exteriores de mampostería bloques de hormigón 19x19x39 cm., revocada exterior e interiormente.			
Interiores de mampostería de ladrillos cerámicos huecos 8x18x25 cm.			
CUBIERTA: Chapa galv. trapezoidal Nº24 con cielorraso independiente de placas tipo Guillermina y lana de vidrio 25mm. sobre cielorraso.			
PISOS: En contacto con terreno natural en planta baja. Entrepiso losa alivianada viguetas pretensadas y ladrillones cerámicos. e=0,20m.			
VENTANAS: de chapa doblada con celosías.			
<b>CONSUMOS DE ENERGÍA</b>			
<b>Según Simulación electrónica</b>		<b>Según datos aportados por empresa proveedora del servicio:</b>	
Horas/día fuera de condiciones de confort (sin acond. aire):		Consumo anual de electricidad (kw/h):	
<b>Invierno: 24 - Verano: 24</b>		<b>2984</b>	
Energía bimestral necesaria para el confort (kw/h):		Consumo bimestral de electricidad (kw/h):	
<b>Invierno: 4375,8 - Verano: 19493,4</b>		<b>Invierno: 338 - Verano: 500</b>	
Consumo diario de electricidad (kw/h):		Consumo diario de electricidad (kw/h):	
Día de diseño período frío	Día de diseño período cálido	Día de diseño período frío	Día de diseño período cálido
<b>72,93</b>	<b>324,89</b>	<b>5,6</b>	<b>8,4</b>
Índice de consumo diario de energía para el confort por superficie (kwh/m2) para la estación crítica (verano):		Índice de consumo real diario de energía por superficie (kwh/m2) para la estación crítica (verano):	
<b>5,77 (1283 KWh/m2 año)</b>		<b>0,15 (54,75 KWh/m2 año)</b>	

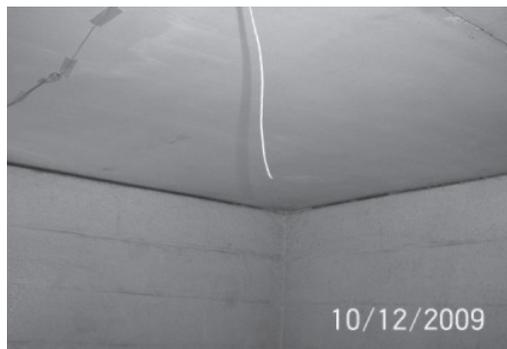
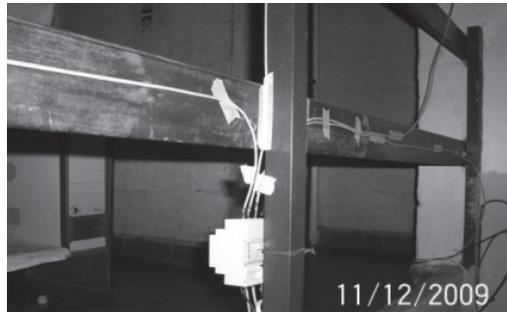
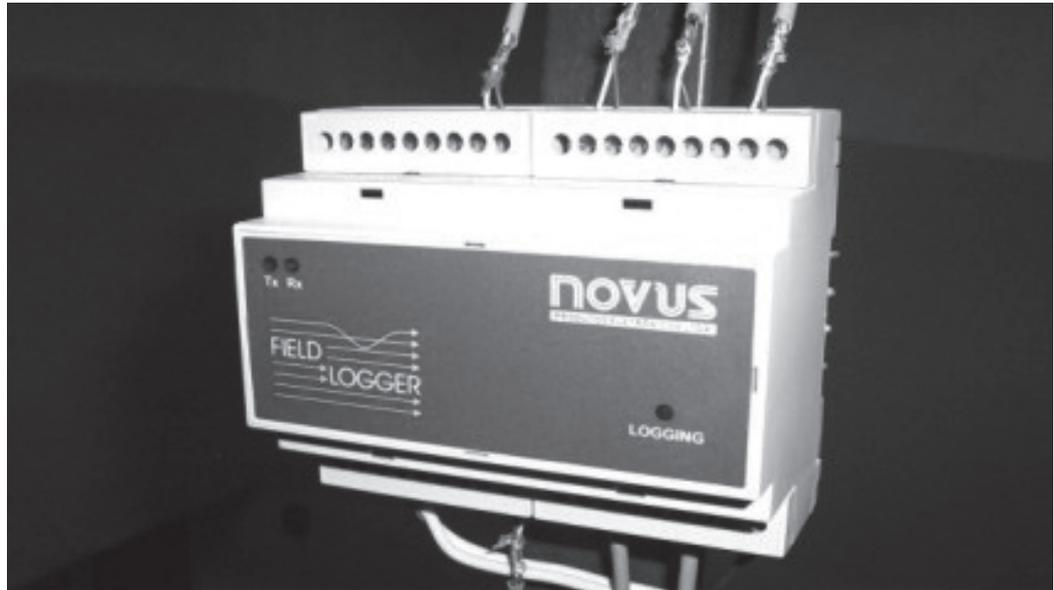


**Laguna Seca: consumos energéticos por unidad de superficie**



**Tabla 1** | Planilla tipo para la sistematización de datos de los prototipos de vivienda relevados y simulados informáticamente.

Fuente: ALÍAS, Herminia M. y JACOBO, Guillermo J. Situación higrotérmica, energética y ambiental de la construcción arquitectónica en la región Nordeste de Argentina. ISBN N° 987 - 43 - 7744 - 5. I.T.D.A.Hu. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional del Nordeste. Moglia Ediciones SR.L. Corrientes, Argentina, 2004.



**Figura 3 |** Instrumental utilizado para el monitoreo experimental *in situ*:  
adquisidor de datos y sensores.  
Fuente: fotografías propias de los autores.

de los prototipos relevados en Corrientes y Chaco, respectivamente, emitidas por la DPEC (Dirección Provincial de Energía de Corrientes) y por SECHEEP (Servicios Energéticos del Chaco Empresa del Estado Provincial), se establecieron las situaciones de consumos reales de cada prototipo, por mes, día y por superficie del edificio. Los datos arrojados por la simulación computacional y los datos reales de facturación fueron comparados. Para completar el análisis, se hizo una confrontación gráfica de los resultados obtenidos, donde se observaron los consumos promedio por unidad de superficie para cada vivienda (para el día de diseño de verano) y cada tipología constructiva (tecnologías habituales de mampuestos y tecnologías secas o mixtas con uso de la madera en la panelería de cerramientos). Como resultado de los estudios comparativos de las viviendas seleccionadas, se pudieron verificar valores de energía necesaria para el confort y consumos reales de energía por superficie muy diferentes.

En la Tabla 1 se presenta una planilla modelo de resultados de las simulaciones a una de las viviendas tomadas como UA.

### Monitoreo experimental *in situ*

Se hicieron mediciones *in situ* en cinco de las diez (10) viviendas seleccionadas como «UA».

Las variables medidas durante el monitoreo fueron:

- Temperaturas ambientes exteriores a la sombra (medidas en intervalos de media hora);
- Temperaturas de bulbo seco de los ambientes de los locales de las viviendas (medidas en intervalos de 30 minutos);
- HR de los ambientes de los locales de las viviendas (medido en intervalos de media hora);
- Radiación solar total sobre superficie horizontal: techo (medida en intervalos de 30 minutos).

Como sensores se utilizaron termistores previamente calibrados. Los sensores se conectaron a una PC a través de un módulo de adquisición de datos (data-logger) de 16 bits con 8 canales analógicos, 8 canales digitales, 4 canales de control. Los sensores interiores se colocaron en el baricentro aproximado de cada ambiente de cada UA monitoreada. Se evaluaron las UA durante períodos de 7 u 8 días corridos (las 24 hs. de cada día) de un mes representativo de la estación cálida (marzo) y de iguales períodos durante un mes representativo de la estación fría (julio). El monitoreo se realizó con las UA habitadas.

En última instancia, el monitoreo de los datos de comportamiento térmico de los prototipos permitió «validar» los resultados de las simulaciones mediante software a través de la comparación de dichos datos experimentales con el comportamiento predicho a partir de las simulaciones realizadas.

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El trabajo hizo posible obtener índices de consumos energéticos diarios por unidad de superficie (para el día típico de diseño de verano y para el de invierno) e índices anuales por unidad de superficie, para lograr condiciones homogéneas en lo relativo a niveles mínimos de confort higrotérmico (ver Tabla 2). Se observaron diferencias en los consumos entre una y otra tecnología de materialización y material básico de la envolvente, y fueron menores los consumos cuando las viviendas de mampostería tradicional reemplazaban estos cerramientos por la panelería de madera tipo sandwich propuesta. Los consumos reales de energía por superficie (calculados a partir de dividir el consumo bimestral de meses típicos de verano promedio por 60 días, y a su vez este resultado dividido por la superficie de la vivienda), según la empresa facturadora, son menores a los consumos necesarios para mantener el confort interior de acuerdo con la simulación informática, lo que puede deberse a la insuficiente disponibilidad económica por parte de los usuarios para proveerse de artefactos para el acondicionamiento artificial de los ambientes y, por ende, al acostumbramiento a la continua habitabilidad en ambientes con altos índices de discomfort.

Se detectó que la panelería de madera, a espesores mucho menores, en soluciones de muro tipo sandwich, presenta menores o iguales valores de transmitancia térmica que soluciones de mampostería de 20 y hasta 30 cm de espesor.

#### La orientación y el factor de forma

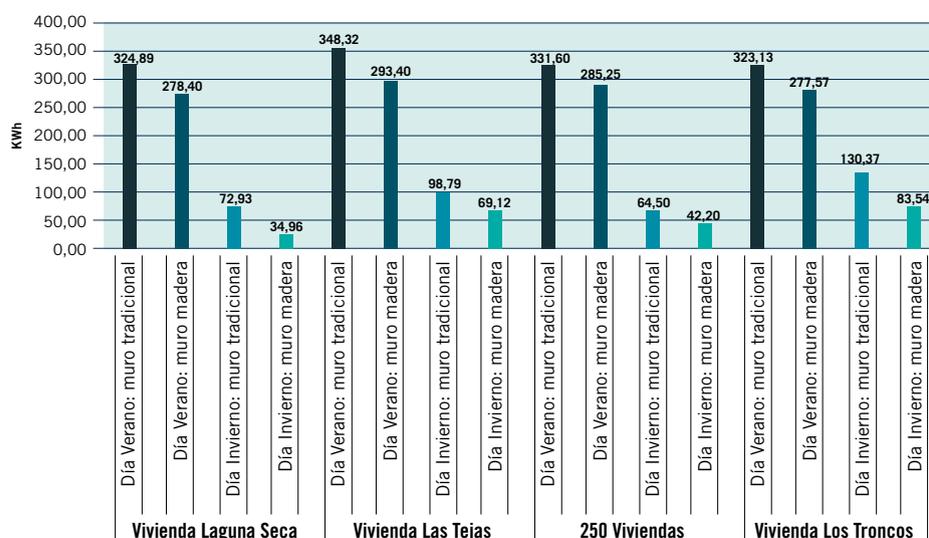
Para los casos analizados, en las situaciones de enfriamiento (en verano), resulta especialmente desfavorable la orientación de grandes superficies de pared exterior al norte, debido a que así el plano recibe la mayor proporción de radiación solar justamente en una franja horaria en que las temperaturas exteriores experimentan su pico máximo. Para plantas de viviendas de proporciones cuadradas, además de la orientación norte, también es desfavorable en verano la orientación oeste. Sin embargo, si la vivienda posee frentes o fachadas al este y oeste, y éstas son los lados mayores del perímetro en planta, son ellas las que ocasionan los consumos más altos para mantener el confort en verano. Para la situación de calefacción (en invierno), la orientación

Unidad de Análisis consideradas. Características y resultados de la simulación computacional			Consumos diarios de energía por unidad de superficie (KWh/m <sup>2</sup> /día)						Consumos anuales de energía por unidad de superficie (KWh/m <sup>2</sup> /año)			
Vivienda	Imagen exterior	esquema de planta	Factor de Forma (sup. envolvente/volumen)	Consumo diario energía para el confort/m <sup>2</sup>				Consumo diario real de energía/m <sup>2</sup>	Consumo energía para mantener confort/m <sup>2</sup> reemplazando muros tradicionales por panelería madera	Consumo anual energía para el confort/m <sup>2</sup>	Consumo anual real de energía/m <sup>2</sup>	Consumo anual energía para mantener confort/m <sup>2</sup> reemplazando muros tradicionales por panelería madera
				Fachada al norte	Fachada al este	Fachada al sur	Fachada al oeste					
Laguna Seca			0,98	5,77	5,77	5,77	5,74	0,15	<b>4,95</b>	1283,00	54,75	1016,00
Las Tejas			1,06	5,29	5,15	5,15	5,17	0,18	<b>4,46</b>	1239,50	6,70	1005,00
250 Viviendas			0,98	5,30	5,43	5,30	5,43	0,13	<b>4,67</b>	1197,30	47,45	987,00
Los Troncos			0,78	3,04	3,15	3,14	3,16	0,11	<b>2,70</b>	828,26	40,15	642,45
Nueva Resistencia			0,44	6,97	6,97	-	-	0,15	-	1416,00	54,75	-
Madecor			0,98	6,29	6,31	6,31	6,31	0,15	-	1346,80	54,75	-
Scorov			1,04	8,95	8,91	8,91	8,95	0,19	-	1905,90	69,35	-
Saint Ferrando			0,79	4,87	4,78	4,87	4,78	0,13	-	1055,90	47,45	-
Plan Cero			0,95	5,81	6,07	5,81	6,07	0,15	-	1312,50	54,75	-
Macha			1,09	9,70	9,65	9,65	9,93	0,19	-	1993,50	69,35	-

Tabla 2 | Planilla síntesis de los principales resultados obtenidos mediante la simulación computacional.

Fuente: ALÍAS, Herminia M. Estudio de la eficiencia ambiental del uso de madera en la construcción de viviendas en el NEA en base al análisis energético y de Ciclo de Vida. Tesis de la Maestría en Gestión Ambiental de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina, 2003.

**Comparación del consumo en energético (KWh para mantener condiciones de confort) para el día de diseño de verano y de invierno de las U. de A. con muros de mampostería y de las mismas U. de A. con muros de papelería de madera tipo sándwich**



**Figura 4 |** Comparaciones de consumos anuales por unidad de superficie: a) real; b) para mantener el confort y c) para mantener el confort con reemplazo de envoltentes originales por panelería de madera.

Fuente: ALÍAS, Herminia M. Estudio de la eficiencia ambiental del uso de madera en la construcción de viviendas en el NEA en base al análisis energético y de Ciclo de Vida. Tesis de la Maestría en Gestión Ambiental de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina, 2003.

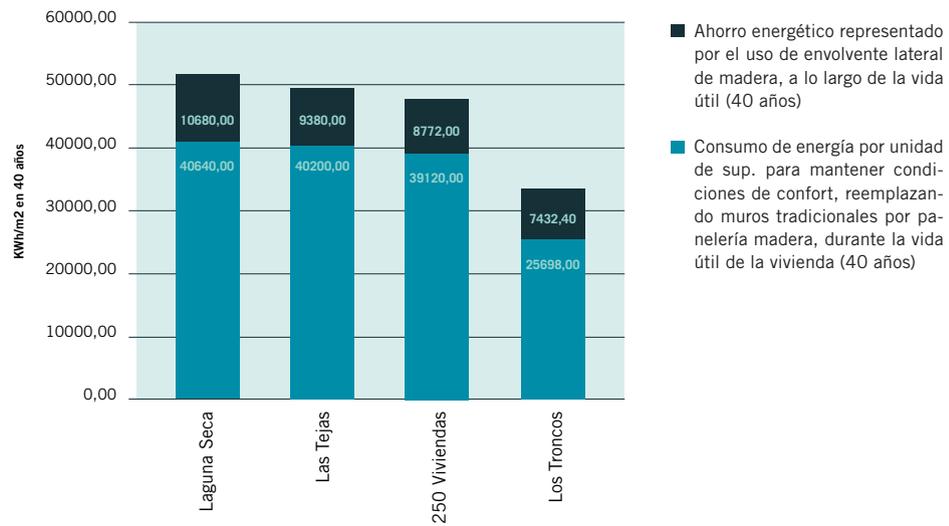
más favorable es la de frente norte y la más desfavorable es la de los frentes sur y este. Pareciera existir correlación entre las temperaturas interiores y el factor de forma y la constitución de la envolvente, en el sentido de que, al aumentar el factor de forma (vivienda más abierta, de mucha extensión de la superficie envolvente) y el coeficiente de absorción de radiación del material exterior de la envolvente, aumentan también las temperaturas radiantes medias interiores y, por lo tanto, es mayor la energía necesaria para mantener el confort en verano. Se trataría entonces de compatibilizar las situaciones de invierno y de verano y determinar a cuál corresponde darle prioridad para nuestra zona bioclimática, en la que, sin dudas, la estación crítica en términos de consumos de energía es el verano.

#### La influencia del material de la envolvente

Debido a que, comparando los consumos de energía por unidad de superficie de todas las unidades analizadas entre sí no pudo llegar a establecerse un patrón que caracterice al comportamiento termoenergético

dado por el uso de un material como la madera en la constitución de la envolvente lateral, en lugar del uso de la mampostería tradicional de bloques o ladrillos cerámicos o de hormigón se resolvió realizar la simulación computacional nuevamente para las viviendas de envolvente tradicional de mampostería (Laguna Seca, Las Tejas, 250 Viviendas y Los Troncos) pero reemplazando dicha mampostería tradicional por un panel de madera diseñado (el mismo para todos los casos), con lo que se pudo comparar un mismo prototipo en diferentes situaciones tan sólo variando la resolución constructiva de la envolvente lateral vertical. Así, se observó que, para la situación de enfriamiento, el sistema constructivo que parece más adecuado (el que requiere menor cantidad de energía para enfriamiento en verano) es el de madera, que necesita un 15% menos de energía que el de mampostería. Restaría establecer la rentabilidad económica que produce el ahorro de energía obtenido usando medidas de conservación de energía (y uso de materiales de menor impacto ambiental al lo largo de todo su ciclo de vida como la madera), frente al costo que estas técnicas demandan.

**Ahorro energético para acondicionamiento del aire reemplazando mampostería tradicional por panelería de madera, a lo largo de toda la vida útil de la vivienda (40 años)**



**Figura 5 |** Ahorro energético para acondicionamiento del aire interior para el confort, reemplazando mampostería tradicional de la envolvente original de las viviendas por panelería de madera.

Fuente: ALÍAS, Herminia M. y JACOBO, Guillermo J. Simulaciones del consumo de energía eléctrica para mantener el confort en verano e invierno en viviendas con envolventes de madera y de mampostería. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA). Vol. 8. N°1. ISSN 0329-5184. Editores de ASADES. INENCO. Salta, Argentina. P. 41. Argentina, 2004.

Como validación de los resultados de las simulaciones de comportamiento térmico de las viviendas, se han encontrado un buen ajuste y un alto grado de aproximación entre las tendencias y resultados medidos en campo con respecto a los simulados con la herramienta informática, lo que demuestra que la misma podría ser usada con alto grado de confiabilidad, tanto para implementar mejoras que optimicen el nivel de confort térmico en viviendas ya construidas y en etapa de uso, como también para optimizar su desempeño térmico en la etapa de diseño conceptual.

Los resultados obtenidos determinan el grado de déficit de las tipologías analizadas en cuanto a consumos reales de energía (mucho menores a los necesarios para el confort, por lo que se presupone que se ha aceptado por parte de la población el disconfort térmico dentro de las viviendas como hecho habitual) y, a su vez, comparando estos últimos con estándares internacionales y con estimaciones globales del impacto que producen

en el consumo energético anual del sector residencial. Todas las tipologías acusan consumos de energía anual para el confort por unidad de superficie iguales a ocho o nueve veces más que el más alto de los estándares de referencia. Los estándares de referencia son: Edificio moderno (MB): con 150 kWh/m<sup>2</sup> año; Edificio de bajo consumo (LEB): con 50 kWh/m<sup>2</sup> año; Edificio de consumo súper bajo (SLEB): 25 kWh/m<sup>2</sup> año (Blasco et al., 2000). De ello se desprende la necesidad de encarar serios estudios que contribuyan a hacer un uso más eficiente de la energía, no sólo a través de la elección acertada de los materiales constitutivos de la envolvente sino a través del análisis de posibilidades para lograr probables ahorros en los otros rubros de la estructura del consumo eléctrico residencial.

### CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

La disminución del consumo energético, con la consiguiente disminución de emisiones ambientales perjudiciales al ambiente, en viviendas de interés social en centros urbanos del NEA, como Corrientes y Resistencia, sería posible sin perder de vista la calidad de vida de los usuarios, apuntando a lograr las condiciones de confort establecidas mediante la adecuación bioclimática de la construcción, el uso racional de la energía y de ciertos materiales disponibles y de explotación ambientalmente sustentable –y de muy buen comportamiento higrotérmico–, como la madera de bosques cultivados locales.

Los análisis efectuados permiten afirmar que los factores de mayor incidencia en el consumo energético son la orientación, el material constitutivo de la envolvente de la vivienda y la compactidad.

Al reemplazar los muros de mampostería tradicional por la panelería de madera propuesta, el índice anual de consumo energético para mantener el confort por unidad de superficie se redujo casi un 21% con respecto a la situación original. Si a este porcentaje de ahorro en energía eléctrica para acondicionamiento del aire a niveles de confort, simplemente mediante el uso de materiales de mejor rendimiento termoenergético, como se ha verificado la madera (de bosques cultivados con manejo sustentable), se le agrega el potencial de ahorro que se obtendría aprovechando más la iluminación natural mediante el diseño de aberturas, mejorando y optimizando la influencia del factor de forma, seguramente ese porcentaje sería aún más impactante, especialmente si se tiene en cuenta lo que este ahorro en energía eléctrica significa en términos de reducción de emisiones contaminantes al ambiente (Alías y Jacobo, 2004). ■



---

## BIBLIOGRAFÍA

- ALÍAS, Herminia María:** «*Estudio de la eficiencia ambiental del uso de madera en la construcción de viviendas en el NEA en base al análisis energético y de Ciclo de Vida*». Tesis de la Maestría en Gestión Ambiental de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste. 2003.  
Director de tesis: Arq. Guillermo José Jacobo. Resistencia, Chaco.
- ALÍAS, Herminia María y JACOBO, Guillermo José:** *Situación higrotérmica, energética y ambiental de la construcción arquitectónica en la región Nordeste de Argentina*. ITDAHu-FAU-UNNE. Corrientes, Argentina: Moglia Ediciones SRL, 2004.
- «*Simulaciones del consumo de energía eléctrica para mantener el confort en verano e invierno en viviendas con envolventes de madera y de mampostería*». Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA), Vol. 8, N° 1. Salta: Editores de ASADES, INENCO, 2004: pp. 37-42.
- BLASCO LUCAS, Irene A. et al.:** «*Comportamiento Energético de Tipologías Barriales en San Juan – Argentina*». Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA), N° 1. Resistencia, Chaco, 2000.
- EVANS, John M. y DE SCHILLER, Silvia:** «*Evaluador energético: método de verificación del comportamiento energético y ambiental de viviendas*». Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA), N° 5. Mendoza, 2001.
- JACOBO, Guillermo José y VEDOYA, Daniel Edgardo:** *El confort en los espacios arquitectónicos de la Región Nordeste de Argentina*. ITDAHu-FAU-UNNE. Corrientes, Argentina: Moglia Ediciones SRL, 2001.
- TORRES, Santiago y EVANS, John M.:** «*Diseño arquitectónico y consumo de energía. Estudios paramétricos con Energy-10*». Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA), Vol. 3, N° 2. San Miguel de Tucumán, 1999.