

## RELEVAMIENTO DEL PARQUE HABITACIONAL SOCIAL DE RESISTENCIA Y CORRIENTES Y SU DESEMPEÑO TÉRMICO: MONITOREO Y SIMULACIONES

H. M. Alías<sup>1</sup>; G. J. Jacobo<sup>2</sup>; V. A. Gallipoliti<sup>3</sup>; P. E. Martina<sup>4</sup>; J. J. Corace<sup>4</sup>; M. R. Aeberhard<sup>4</sup>; A. Di Bernardo<sup>5</sup>

Cátedra ESTRUCTURAS II. Área de la Tecnología y la Producción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU). Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) - Av. Las Heras 727 - 3500 - Resistencia - Chaco

Tel.: +54 3722 425573 - e-mail: heralias@arq.unne.edu.ar / gjjacob@arq.unne.edu.ar

Grupo de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables (GIDER). Facultad de Ingeniería (FI) - UNNE - Av. Las Heras 727 - 3500 - Resistencia - Chaco. Tel.: +54 3722 420076

**RESUMEN:** Habiendo finalizado un relevamiento que incluye cincuenta tipologías de viviendas sociales implementadas masivamente en las provincias de Corrientes y Chaco, gestionadas por programas habitacionales oficiales en diferentes períodos, se trabajó con el objetivo de elaborar un diagnóstico de desempeño térmico y energético de dichas viviendas, de interés considerando que el panorama provincial y regional se caracteriza por un alto consumo eléctrico para acondicionamiento del aire. Mediante monitoreo experimental en una muestra de estas viviendas, contrastado con simulaciones mediante software específico (Ecotect), se ha verificado que sus espacios interiores presentan problemas en cuanto al confort de sus usuarios en relación al clima cálido-húmedo, fundamentalmente durante el período estival, en parte debido a la baja resistencia térmica de las soluciones constructivas aplicadas a las envolventes y al escaso uso de las aislaciones en muros y techos. Los problemas detectados sirvieron para orientar la propuesta de criterios de optimización.

**Palabras Clave:** comportamiento térmico, consumo de energía, viviendas sociales, monitoreo, simulaciones.

### INTRODUCCIÓN

Las ciudades de Resistencia y Corrientes están localizadas en la zona bioambiental Ib (IRAM 11603, 1996): *muy cálida*, donde los valores de temperatura efectiva corregida media, en el día típicamente cálido, son superiores a 26,3°C; durante la época caliente todos los sectores presentan valores de temperatura máxima superiores a 34°C y valores medios superiores a 26°C, con amplitudes térmicas menores de 14°C. El período invernal es poco significativo con temperaturas medias durante el mes más frío superiores a los 12°C.

En las viviendas sociales construidas en las provincias de Corrientes y Chaco, la adecuación climática es un factor que se introduce generalmente en instancias posteriores al diseño (por parte del usuario), para paliar así las falencias de proyecto y construcción (Di Bernardo et al, 2008), teniendo que recurrir a la implementación de equipos electromecánicos de acondicionamiento ambiental. Esto genera un alto y continuo consumo energético para climatización interior con el fin de alcanzar las condiciones necesarias de habitabilidad en los mismos. Para comprender la magnitud socio-ambiental y económica del tema, basta comentar que para una vivienda social tipo de las ciudades del nordeste argentino (NEA), el consumo anual de energía por unidad de superficie para mantener las condiciones de confort con el uso de equipos electromecánicos de acondicionamiento, alcanza a 180 KWh/m<sup>2</sup>/año, lo cual, para una vivienda tipo de 80m<sup>2</sup> de superficie, representa 14.400 KWh/año en total (ó 1200 KWh/mensuales). Sin embargo, optimizando las propiedades y el rendimiento termo-físico de los componentes de la envolvente constructiva perimetral, dicho consumo anual de energía podría reducirse sustancialmente. Extrapolando el ahorro en la vida útil proyectada de una vivienda (40 años), se tendría un sustancial ahorro energético, con un alto beneficio ambiental en términos de reducción de emisiones contaminantes.

*La importancia del comportamiento de la envolvente edilicia y su implicancia en el consumo energético, están directamente relacionados. La transferencia de calor depende del tipo de cerramiento, de la calidad del aislamiento higrótérmico, y de la inercia térmica del mismo. En nuestro medio, a la hora de proyectar no se tiene en cuenta el consumo energético que el edificio insumirá a lo largo de su vida útil, como así tampoco los efectos que provoca la combustión de los recursos no renovables para que el edificio mantenga niveles admisibles para el confort de las personas (Corredera et al, 2006).*

Se trabajó con el objetivo general de realizar un diagnóstico de situación y detectar posibles problemas higrótérmicos en las viviendas sociales construidas en dos ciudades cabecera del nordeste de Argentina -Resistencia y Corrientes-, mediante la evaluación de aspectos del desempeño termoenergético de las mismas, con miras al desarrollo, a futuro, de pautas optimizadas de diseño de viviendas. Uno de los objetivos específicos del trabajo fue aportar al problema de la simulación como herramienta de diseño.

<sup>1</sup> Mgter. Arq. Esp. Prof. Univ. Investigadora FAU - UNNE. Co-directora proy. inv. SGCyT - UNNE.

<sup>2</sup> MSc. M. Ing. Arq. Prof. Univ. Investigador FAU - UNNE. Director proy. inv. SGCyT - UNNE.

<sup>3</sup> Mgter. Ing. Electr. Prof. Univ. Investigadora FAU - UNNE.

<sup>4</sup> Ing. Prof. Univ. Investigador Depto. Termodinámica - Grupo de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables (GIDER) - FI - UNNE.

<sup>5</sup> Arq. Becario Programa Doctorado CONICET-UNNE

## METODOLOGÍA

Se realizó, a través de un análisis de los diseños tecnológico–constructivos implementados en las viviendas sociales construidas en las ciudades mencionadas, y a través del uso de herramientas informáticas (contrastadas con un monitoreo experimental), un estudio del desempeño de las condiciones térmicas y de consumo energético de los que dichos diseños son responsables directos. Para ello se llevaron a cabo mediciones in situ de fluctuaciones térmicas en espacios interiores de una muestra representativa de viviendas de interés social y luego se simuló el comportamiento térmico de las mismas, aplicando el programa informático ECOTECT v. 5.20 (Marsh, 2003). Los resultados obtenidos mediante las simulaciones dinámicas fueron comparados con los arrojados por las mediciones, a efectos de garantizar la confiabilidad y posibilidades de generalización de los resultados de la simulación a diferentes períodos del año (sin necesidad de monitoreo in situ) y tipologías edilicias. Se planificó la realización del trabajo en tres etapas:

### 1ª Relevamiento – Análisis

- *Relevamiento de datos de proyecto y ejecución de tipologías de viviendas de interés social implementadas masivamente en Corrientes y Chaco, gestionadas a través de planes nacionales de vivienda (desde el año 1975 a la fecha) y generación de una base de datos.*
- *Análisis del sistema tecnológico-constructivo detectado en cada tipología de vivienda relevada, evaluando su capacidad de adaptación al clima regional del NEA, teniendo como referencia la zonificación bioclimática propuesta por la norma IRAM 11603/96.*
- *Definición de Unidades de Análisis (UA): tipologías de viviendas representativas, tanto de la realidad constructiva regional de Corrientes y Resistencia, como de las particularidades climáticas locales.*
- *Relevamiento sensible de las UA y encuestas a sus usuarios.*

### 2ª Operativa

- *Verificación de las condiciones higrotérmicas de los componentes de la envolvente (muros y techos) de las UA mediante la normativa de habitabilidad vigente del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM).*
- *Monitoreo experimental del comportamiento térmico de una muestra de las UA. Procesamiento y análisis de los datos experimentales.*
- *Realización de simulaciones dinámicas de comportamientos térmicos y de consumos de energía eléctrica para acondicionamiento ambiental electromecánico de los ambientes de las UA, mediante el programa ECOTECT.*
- *Comparación de los datos experimentales monitoreados en campo, con el comportamiento predicho a partir de las simulaciones. Determinación del grado de ajuste entre los valores obtenidos en ambas instancias.*

### 3ª Conclusiones - Propuesta

- *Discusión de resultados y conclusiones*
- *Propuesta de mejoras aplicables al diseño de los prototipos de viviendas más utilizados, si ello fuera necesario en función del diagnóstico de desempeño higrotérmico de la envolvente de dichas viviendas y de los resultados obtenidos en las etapas precedentes.*

## DESARROLLO Y RESULTADOS

Se ha relevado información técnica de cincuenta (50) prototipos de viviendas sociales, construidas en diferentes ciudades de las provincias de Corrientes y Chaco, mediante programas oficiales habitacionales (estas viviendas se enumeran en la tabla 1). Se confeccionaron fichas síntesis por cada vivienda relevada (tabla 2) que recogen información acerca de las variables situacionales, programático – funcionales, tecnológico - constructivas y de parámetros higrotérmicos de sus envolventes, complementadas con fichas – encuestas realizadas a sus ocupantes. Como Unidades de Análisis (UA) se definieron quince viviendas, que constituyen tipologías constructivas representativas de las viviendas relevadas, por la masividad de su empleo, por las características de sus partidos arquitectónicos, condiciones de implantación y vínculo con las viviendas contiguas, así como también por sus organizaciones formales y espaciales y particularidades tecnológicas (las UA se exponen en la tabla 1, destacadas por la presencia de esquemas volumétricos y grisado). Del relevamiento y análisis de las viviendas se desprendió que las soluciones constructivas predominantes para los muros exteriores están representadas casi con exclusividad por los ladrillos comunes macizos en espesores de 15 y 20cm., revocados exterior e interiormente (o bien con la cara exterior sin revocar), y por los ladrillos cerámicos huecos de 12 y 18 cm. de espesor, en tanto que las cubiertas se resuelven mayoritariamente con chapas galvanizadas y cielorrasos de placas, con algunos casos aislados de tejas cerámicas. La incorporación de aislantes térmicos en muros no se verifica, en tanto que en cubiertas sólo se registra en el 40% de los casos relevados e incluidos en la Base de Datos.

### *Verificación de la envolvente de las UA mediante normativa de habitabilidad del IRAM.*

Para el acondicionamiento higrotérmico de los espacios arquitectónicos es necesario un adecuado diseño tecnológico - constructivo de los cerramientos perimetrales de los edificios, y su verificación mediante los métodos de cálculo propuestos por el IRAM, que permiten modelizar matemáticamente el desempeño de dichos cerramientos (muros, pisos y techos), comparándolo con ciertos valores que representan las condiciones mínimas aceptables (Jacobo et al, 2009). En función de la verificación de los muros exteriores y techos de las viviendas definidas como UA mediante los procedimientos estipulados en las Normas IRAM 11601/96 – 11605/96 – 11625/00 – 11630/00, se advirtió en general un bajo nivel de habitabilidad higrotérmica, sobre todo en lo referente a valores de transmitancias térmicas “K”, siendo los valores obtenidos muy altos, lo que sitúa a los componentes analizados en un nivel “C” (*mínimo* aceptable, según categorización propuesta por IRAM 11605/96) cuando no fuera de toda categoría por ser demasiado altos. Sólo en casos aislados se presentan niveles *medios* “B”.















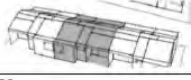
| PROVINCIA DE CORRIENTES                     |  |                            | PROVINCIA DE CHACO                                    |   |              |
|---|--|----------------------------|---|---|--------------|
| Denominación agrupamiento viviendas         | Nomenclatura en Base de Datos  | Localidad                  | Denominación agrupamiento viviendas                   | Nomenclatura en Base de Datos   | Localidad    |
| 250 VIVIENDAS, GRUPO 2                      | C.1. Ladr. comunes - chapa<br>        | Corrientes, Capital        | CIR.SU.SE.PE.FA                                       | R.1. Ladr. comunes - chapa<br>         | Resistencia  |
| 17 DE AGOSTO                                | C.2. Ladr. cerám. huecos - chapa<br>  | Corrientes, Capital        | MUPUNNE   | R.2. Ladr. comunes - chapa<br>         | Resistencia  |
| EX AERO CLUB                                | C.3. Ladr. cerám. huecos - chapa<br>  | Corrientes, Capital        | LOS TRONCOS   | R.3. Ladr. cerám. huecos - chapa<br>   | Resistencia  |
| LAGUNA SECA (DUPLIX 2D -MODELO 1).          | C.4.a. Lad. cerám. huecos - chapa<br> | Corrientes, Capital        | VILLA ELISA – 100 VIV. UPCP                           | R.4. Ladr. cerám. huecos - chapa<br>   | Resistencia  |
| LAGUNA SECA (DUPLIX 2D -MODELO 2).          | C.4.b.   | Corrientes, Capital        | BARRIO ITALIA   | R.5. Ladr. comunes - chapa<br>         | Resistencia  |
| LAGUNA SECA (DUPLIX 3 D).                   | C.4.c.   | Corrientes, Capital        | VIVIENDAS SEMINARIO "LA ENCARNACION"                  | R.6. Prefabr. c/madera - chapa<br>     | Resistencia  |
| LAGUNA SECA (DUPLIX 4 D).                   | C.4.d.   | Corrientes, Capital        | BARRIO 78 VIVIENDAS (Sta. Rita II)                    | R.7.  | Resistencia  |
| LAGUNA SECA (PLANTA BAJA).                  | C.4.e.   | Corrientes, Capital        | LOTEO LINDERO A CEMENTERIO JUDÍO                      | R.8.  | Resistencia  |
| LAS TEJAS – EX AERO CLUB                    | C.5. Lad. cerám. huecos - tejas<br>  | Corrientes, Capital        | BARRIO LOS TEROS                                      | R.9.  | Resistencia  |
| SAN ANTONIO                                 | C.6. Ladr. comunes - chapa<br>      | Corrientes, Capital        | VILLA DON RAFAEL                                      | R.10.   | Resistencia  |
| SAN GERÓNIMO                                | C.7. Lad. cerám. huecos - chapa<br> | Corrientes, Capital        | VIV. MZ. e / Avdas. Lavalle – Avalos y calle Formosa) | R.11.   | Resistencia  |
| 60 VIV. BARRIO INDEPENDENCIA                | C.8.   | Corrientes, Capital        | 252 viv. CGT  | R.12.   | Resistencia  |
| 60 VIV. PARAJE ÑAPINDÁ                      | C.9.   | Ctes., Cap.                | BARRIO SOESGIPE                                       | R.13.   | Resistencia  |
| VIV. PROGRAMA SCHILI .                      | C.10.  | Ctes., Cap.                | BARRIO SANTA INES 1                                   | R.14.   | Resistencia  |
| 300 VIVIENDAS                               | C.11.  | Corrientes, Capital        | BARRIO SANTA INES 2 (Avdas. Malvinas Arg. y Mac Lean) | R.15. Lad. cerám. huecos - chapa<br> | Resistencia  |
| BARRIO DR. NICOLINI                         | C.12.  | Ctes., Cap.                | VILLA HERCILIA  | R.16.   | Resistencia  |
| VIV. AV. FERRÉ (entre Bustamante y Oriarte) | C.13.  | Corrientes, Capital        | BARRIO JORGE NEWBERY                                  | R.17.   | Resistencia  |
| BARRIO T.A.N.S.A. (viv. MADECOR)            | C.14.  | Bella Vista                | VILLA MARÍA CRISTINA                                  | R.18.   | Barranqueras |
| 15 Viv. GDOR. VIRASORO y 16 Viv. SAN ROQUE. | C.15.  | Gdor. Virasoro y San Roque | VILLA ORO   | R.19. Ladr. comunes - chapa<br>      | Fontana      |
| 56 VIV. BARRIO RESURRECCIÓN                 | C.16.  | Goya                       | 60 VIVIENDAS  | R.20.   | Fontana      |
| VIVIENDAS ITUZAINGÓ                         | C.17.  | Ituzaingó                  | BARRIO LINDERO A RESID. SALESIANOS                    | R.21.   | Fontana      |
| 60 VIV. ALVEAR (1 D.)                       | C.18.a.  | Alvear                     | BARRIO BELGRANO                                       | R.22.   | Fontana      |
| 60 VIV. ALVEAR (2 D.)                       | C.18.b.  | Alvear                     | VILLA GRAL. MITRE.                                    | R.23.   | Fontana      |
| 60 VIV. ALVEAR (3 D.)                       | C.18.c.  | Alvear                     | VILLA FACUNDO   | R.24.   | Resistencia  |
| 60 VIV. ALVEAR (4 D.)                       | C.18.d.  | Alvear                     |   |   |              |
| 164 VIVIENDAS                               | C.19.  | Ctes., Cap.                |   |   |              |

Tabla 1: Planilla de las viviendas relevadas. Las Unidades de Análisis se distinguen por la inclusión de esquemas volumétricos.

Monitoreo experimental de comportamiento térmico. Resultados generales obtenidos.

Se efectuaron mediciones in situ en una muestra de las viviendas seleccionadas como UA (tabla 3), conformada por tres de ellas: R3 ("Los Troncos") y R15 ("Santa Inés 2") -localizadas en Resistencia, Chaco- y C1 ("250 viviendas") -implantada en Corrientes, Capital-, las cuales estuvieron en condiciones de uso normal durante el monitoreo (las mismas se encuentran habitadas).

| 1. PRESENTACIÓN DE LA VIVIENDA -  |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
|---|-----------|---|-------------------------------------|--|------------|-----------|------------|-------------------------------------|------------------|--|--|--|-------|--|--|--|
| <b>NOMBRE DEL BARRIO / N° VIVIENDAS / AÑO:</b><br>SANTA INES 2 (Av. Malvinas Arg. entre calles 3 y 4) - 1979<br>INDIVIDUAL EN DUPLEX.   |           | Ciudad de Resistencia, Chaco<br>Ubicación del barrio en la ciudad   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>LOCALIDAD / PROVINCIA:</b><br>Resistencia, Chaco.  |           |    |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>UBICACIÓN:</b>   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>ORGANISMO / TIPO EMP RENDIMIENTO:</b><br>Instituto Provincial de Desarrollo Urbano y Vivienda (IPDUV) - Oficial - Público.   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| 2. SITUACIÓN - ENTORNO  |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>IMPLANTACIÓN / CONDICIONES DE VÍNCULO</b>  |           | Localización urbana, al Sudoeste de la ciudad.<br>Entre medianeras.   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>PARTIDO - FACTOR DE FORMA</b>  |           | Cerrado - Compacto.   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| 3. ASPECTOS PROGRAMÁTICOS / FUNCIONALES   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>DESTINO:</b><br>Vivienda Unifamiliar   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>PROTOTIPO / PROGRAMA:</b><br>Individual en Duplex - Prototipos 4 dormitorios   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
|    |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| 4. ASPECTOS TECNOLÓGICO / CONSTRUCTIVOS Y ESTRUCTURALES   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>SISTEMA DE CERRAMIENTOS - ESTRUCTURA:</b><br>Ladrillos cerámicos huecos de 18x18x25cm., revocados exteriormente (revoque impermeable, grueso y fino) e interiormente (revoque grueso).   |           | Se utilizan tecnologías tradicionales "húmedas" : ladrillos huecos en muros , techos de chapa y hormigón armado en fundaciones.   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>TECHO:</b><br>Cubierta: Chapa galvanizada trapezoidal N° 24.<br>Cielorraso: En PA: independiente, de placas tipo Guillermina (aglomerado tipo MDF duro), con aislación térmica de lana de vidrio de 25 mm de espesor.<br>En PB: aplicado bajo losa.<br>Entrepiso: losa alivianada de viguetas pretensadas. Espesor = 17cm.<br>Pisos cerámicos.<br>Altura PB (piso-cielorraso): 2,40m.<br>Altura PA (piso-cielorraso): 2,60m. |           | Chapa galv. N° 24 c/entretecho no ventilado.<br><br>Ladr. huecos 18x18x25 c/ revoque ext. completo e int. grueso fratazado  |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
|   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
|   |           | Cielorraso placas aglomerado c/aisl. lana vidrio 25mm.  |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
|   |           | Detalle tecnológico   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| 5. OBSERVANCIA DE NORMATIVA HIGROTÉRMICA (IRAM 11601 /96 - 11605/96 - 11625/2000 - 11630/2000 - 11603/96)   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>TRANSMITANCIA TÉRMICA ("K")</b>  |           | MUROS: <b>1,63</b> W/m <sup>2</sup> °K (verano e invierno)<br>TECHO: <b>0,84</b> W/m <sup>2</sup> °K (verano) y <b>0,95</b> W/m <sup>2</sup> °K (invierno)  |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>NIVEL DE CONSTRUCCIÓN (según "K" de la envolvente)</b>   |           | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A (OPTIMO)</th> <th>B (MEDIO)</th> <th>C (MÍNIMO)</th> <th>FUERA DE NORMATIVA (SUPERIOR A "C")</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">muros exteriores</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">techo</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |                                     |  | A (OPTIMO) | B (MEDIO) | C (MÍNIMO) | FUERA DE NORMATIVA (SUPERIOR A "C") | muros exteriores |  |  |  | techo |  |  |  |
| A (OPTIMO)  | B (MEDIO) | C (MÍNIMO)  | FUERA DE NORMATIVA (SUPERIOR A "C") |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| muros exteriores  |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| techo   |           |   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL E INTERSTICIAL</b>  |           | MUROS: no existe riesgo de condensación.<br>TECHO: existe riesgo de condensación intersticial en la superficie interior de la chapa galvanizada y sobre la lana de vidrio. Es decir que habría riesgo de condensaciones en las limitantes del entretecho.   |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |
| <b>RETRASO TÉRMICO MUROS EXT.</b>   |           | <b>4.5 horas</b>  |                                     |  |            |           |            |                                     |                  |  |  |  |       |  |  |  |

Tabla 2: Planilla tipo, para sistematización de información de los relevamientos de viviendas. Cada planilla se complementó con una ficha - encuesta a los usuarios.

La muestra se definió aplicando el criterio de que las viviendas constituyan tipologías altamente representativas de las viviendas relevadas, por los partidos arquitectónicos, organizaciones formales y espaciales y soluciones tecnológico-constructivo-estructural, y que además fuera factible acordar con los propietarios la instalación del instrumental de medición en ellas. Las variables medidas durante el monitoreo (en intervalos de 30 minutos) fueron: *Temperatura ambiente exterior a la sombra*; *Temperatura de bulbo seco de los ambientes de los locales* de las viviendas; *HR de los ambientes de los locales* de las viviendas; *Radiación solar total sobre superficie horizontal*, todo ello con instrumental aportado por el Grupo de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables del Depto. de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (GIDER – FI – UNNE), consistente en: sensores de temperatura (termocuplas tipo “K”, previamente calibradas en el rango de temperaturas de trabajo), conectados a un módulo de adquisición de datos (Data Logger - Registrador Virtual *NOVUS FIELD LOGGER*, de 8 canales analógicos, alimentado con 220 voltios, conversor y software de adquisición de datos). Las mediciones de datos de humedad relativa y temperatura ambiente externas fueron realizadas con un medidor de HR y temperatura (marca *ROTRONIC*, tipo Hygromer I-128, con una amplitud de medición de 0 a 100% de HR, con un error de +/- 1,5% a 25°C y con una amplitud de medición de temperaturas de entre -15°C y 65°C, con una apreciación de 0,1 °C).




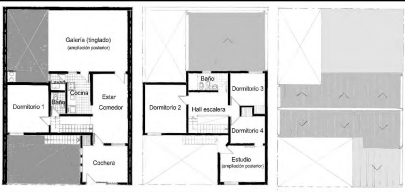

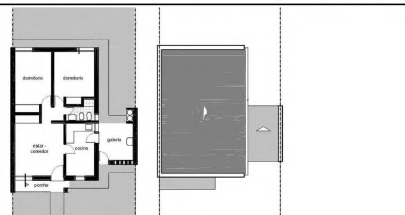
| MUESTRA REPRESENTATIVA DE LAS UA PARA MONITOREO IN SITU  |   |  |
|--|---|--|
| Denominación Vivienda / Barrio   | Esquema en planta   | Características tecnológico - constructivas  |
| <b>R3</b> – Viv. Barrio Los Troncos (tipología en duplex, c/ medianeras).<br>   |    | Muros de ladrillos cerámicos huecos de 18x18x25cm., revocados exteriormente (revoque impermeable, grueso y fino) e interiormente (revoque grueso y fino). Cubierta tejas cerámicas francesas sobre tirantería de madera. Cielorraso de PA independiente, acompañando pendiente, de entablonado de pino 1"x4", con aislación térmica e hidráulica de espuma de polietileno 5 mm de espesor, bajo tejas. Cielorraso de PB aplicado a la cal bajo losa de viguetas.<br>“K” muros: <b>1,64 W/m<sup>2</sup>°K</b> (verano e invierno).<br>“K” techo: <b>0,94 W/m<sup>2</sup>°K</b> (verano) y <b>1,08 W/m<sup>2</sup>°K</b> (invierno). |
| <b>R15</b> – Viv. Barrio Santa Inés 2 (tipología en duplex, c/medianeras).<br> |   | Muros de ladrillos cerámicos huecos de 18x18x25cm., revocados exterior e interiormente. Cubierta chapa galvanizada trapezoidal N° 24. Cielorraso de PA independiente, de placas tipo Guillermina (aglomerado tipo MDF duro), con aislación térmica de lana de vidrio de 25 mm de espesor. Cielorraso de PB aplicado bajo losa. Entrepiso: losa alivianada de viguetas pretensadas.<br>“K” muros: <b>1,63 W/m<sup>2</sup>°K</b> (verano e invierno).<br>“K” techo: <b>0,84 W/m<sup>2</sup>°K</b> (verano) y <b>0,95 W/m<sup>2</sup>°K</b> (invierno).   |
| <b>C1</b> – Viv. Barrio 250 viviendas (tipología en planta baja, c/).<br>     |  | Muros de mampostería de ladrillos comunes macizos de 30 cm de espesor, revocados exterior e interiormente. Divisorias interiores de ladrillos cerámicos huecos de 8x18x33cm. Cubierta chapa acanalada galvanizada sobre estructura reticulada de hierro redondo. Cielorraso independiente de placas de lana de vidrio enchapadas y perfilera metálica.<br>“K” muros: <b>1,88 W/m<sup>2</sup>°K</b> (verano e invierno).<br>“K” techo: <b>0,77 W/m<sup>2</sup>°K</b> (verano) y <b>0,86 W/m<sup>2</sup>°K</b> (invierno).   |

Tabla 3: Muestra de viviendas definida para el monitoreo de condiciones higrotérmicas interiores.

Se monitorearon las fluctuaciones higrotérmicas de las viviendas durante un período de siete días corridos en el mes de marzo de 2010 (desde el 14 hasta el 20) y otro período de ocho días corridos en el mes de julio de 2010 (desde el 08 hasta el 15), las 24 hs. de cada día. Dichos períodos, que registraron días de temperaturas típicas de verano de esta zona cálida-húmeda, así como temperaturas de invierno moderado, incluyen los días para los cuales dichas viviendas fueron simuladas con el programa Ecotect: 18/03/2010 y 14/07/2010. A modo de ejemplo, se exponen los valores de temperaturas interiores de los locales de la vivienda R15, para el período del 14/03 al 20/03 y del 08/07 al 15/07, en las figuras 1 y 2, respectivamente.

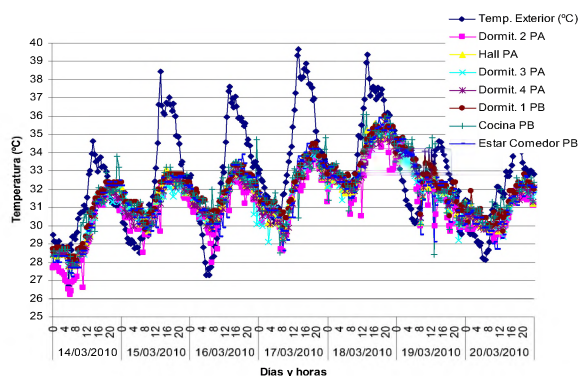


Figura 1: Evolución de temperaturas interiores medidas en la vivienda R15, entre el 14/03 y el 20/03/2010.

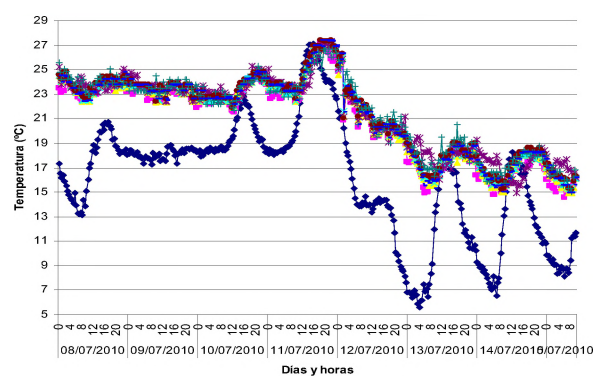


Figura 2: Evolución de temperaturas interiores medidas en la vivienda R15, entre el 08/07 y el 15/07/2010.

En general, en la muestra de viviendas se obtuvieron curvas térmicas en los locales, para el período de registro de marzo, que siguen con muy poco retraso (3 hs. en promedio) la curva térmica externa (los picos máximos interiores registraron 3 a 4 °C menos que los picos exteriores), con menor amplitud que dicha curva externa. Para período de registro de julio se obtuvieron

curvas térmicas con el mismo retraso que las de marzo, aunque entre 5 y 10°C por encima de los valores de temperaturas exteriores. Si se considera el rango de bienestar psicofísico (franja de temperaturas dentro de la cual no se hace imperativo el uso de climatización artificial en Resistencia y Corrientes) para la zona de clima muy cálido húmedo, definido entre los 18°C y los 29°C, las temperaturas interiores registradas en la muestra de viviendas, en todos los locales monitoreados, para el período de marzo 2010 se hallan, el 95% de los días registrados, entre 2,5°C y 7°C por encima del límite máximo definido (29°C). Para el período de once días monitoreados del mes de julio 2010 se presentan mejores condiciones, ya que el 70% del tiempo las temperaturas interiores registradas se encuentran dentro del rango de confort definido, para solamente descender por debajo de los 18°C a partir del día 13/07.

*Simulaciones de comportamiento térmico. Resultados generales obtenidos.*

La aplicación de programas de simulación en el estudio higrotérmico y energético de estas viviendas (así como de edificios en general) se justifica en el hecho de que la predicción de las condiciones de los ambientes interiores (que responden, con mayor o menor rapidez, a la cambiante situación climática externa) es decisiva en el diseño de estrategias de acondicionamiento ambiental (ventilación, humidificación, desecación, enfriamiento y calentamiento). La simulación dinámica del comportamiento térmico de edificios puede predecir las condiciones internas, evaluando de forma precisa el comportamiento térmico edilicio, considerando todos los parámetros que lo definen, tarea cuya realización manual sería compleja y extensa. Se realizaron modelizaciones de las viviendas que conformaron la “muestra” y simulaciones de desempeño higrotérmico de las mismas con el programa Ecotect, para las 24 hs. de los días 18/03/2010 y 14/07/2010, contrastando y comparando las temperaturas ambiente horarias obtenidas mediante la simulación, con las temperaturas registradas esos días con los sensores de temperatura instalados en los locales de las viviendas. En la modelización se ingresaron al programa los datos correspondientes a las condiciones reales de ocupación relevadas en el muestreo de viviendas. En general, las simulaciones de desempeño higrotérmico de las viviendas de la muestra definida, evidenciaron que, para el día cálido, los valores de temperaturas internas (que oscilan entre 31.5°C y 35°C) se encuentran las 24 hs. por encima del límite superior del área preestablecida de confort (18°C – 29°C), alcanzando los picos en el horario entre las 16,00 y las 20,00 hs. Para el día frío se obtuvieron curvas térmicas internas que, casi durante el 60% del día, se hallan levemente por debajo del límite inferior de confort fijado (18°C).

Los gráficos de ganancias de calor simulados en la muestra de viviendas para el día cálido (figura 3) y frío (figura 4) muestran la magnitud y la procedencia de cada tipo de carga para cada hora, actuando en las zonas térmicas de los modelos sobre un período de 24 horas. Para el día cálido se registra, en general, que las máximas cargas térmicas provienen de la transferencia por *conducción* a través de la masa de las envolventes de las zonas (produciéndose el mayor incremento en la carga térmica entre las 9,00 y las 17,00hs.), seguida por las ganancias por *radiación solar directa* (produciéndose la máxima carga entre las 13,00 y las 16,00hs.). Esto indicaría el gran calentamiento que se produce en la superficie de la envolvente perimetral, especialmente en orientaciones al oeste. Para el día frío (figura 5), se registra que las máximas cargas provienen de *radiación solar directa*. En cambio, se registran fuertes *pérdidas por conducción* (experimentando la mínima entre las 4,00 y las 8,00hs.) y por infiltraciones.

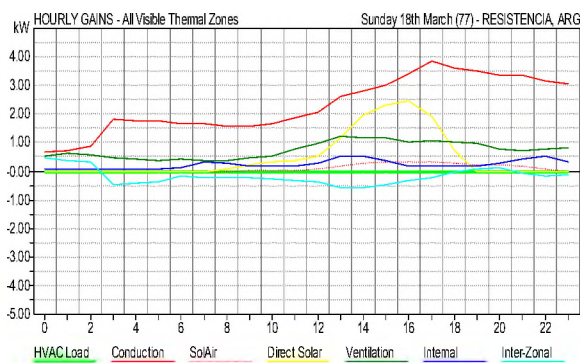


Figura 3: Cargas térmicas horarias promedio, simuladas para el 18 de marzo, para las viviendas del muestreo.

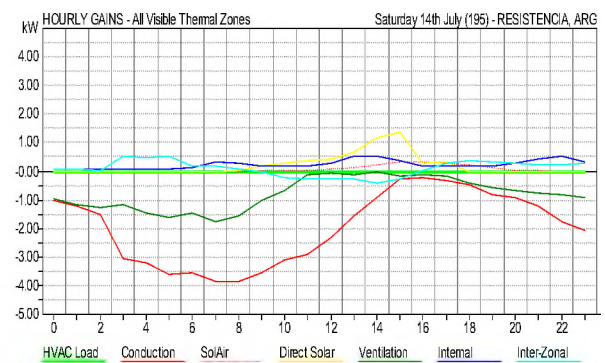


Figura 4: Cargas térmicas horarias promedio, simuladas para el 14 de julio, para las viviendas del muestreo.

A través de la simulación con Ecotect se obtuvieron los porcentajes de tiempo durante los cuales, para cada mes del año, las temperaturas interiores de la muestra de viviendas se encuentran sobre el límite superior y debajo del límite inferior de la banda de confort respectivamente (figura 5), registrándose, en promedio, predominio del disconfort “calor” (de octubre a abril, con picos del 38% de tiempo en diciembre y enero) por sobre el disconfort “frío” (de mayo a septiembre, con picos en julio).

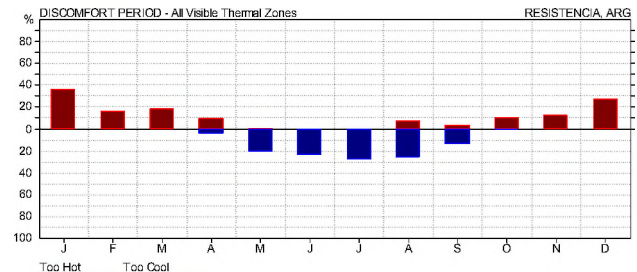


Figura 5: Periodos de disconfort, en porcentajes de tiempo mensuales, según Ecotect.

*Grado de ajuste entre resultados monitoreados y simulados.*

La contrastación de los resultados arrojados por la simulación con los resultados medidos, se efectuó sobre la base de las series de temperaturas medidas y las de temperaturas simuladas, a las que se les aplicaron gráficos de dispersión con líneas de tendencia, para obtener los coeficientes de correlación ( $R^2$ ), que indican el porcentaje de ajuste de ambas series de datos.

Los coeficientes de correlación obtenidos para los locales de las tres viviendas de la muestra, resultaron, en promedio, del orden de 0.83, lo que representa un razonable nivel de ajuste, a la vez que valida los modelos físicos ingresados para las simulaciones, que no obstante son susceptibles de mejoramiento. A modo ejemplificativo, se exponen en las figuras 6 y 7 los valores de temperaturas interiores, medidos y simulados, respectivamente, en los locales de la vivienda R15, siendo válidas las generalizaciones acerca de la evolución de temperaturas efectuadas para el período completo de registro de MARZO.

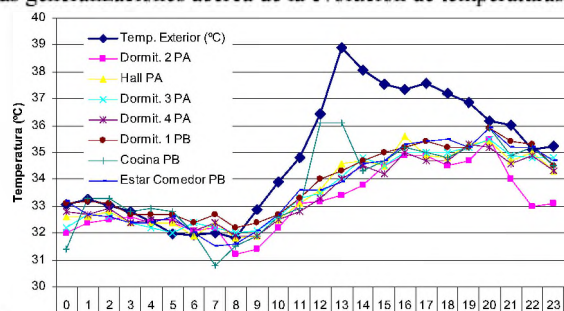


Figura 6: Temperaturas interiores medidas en la vivienda R15, para el 18/03.

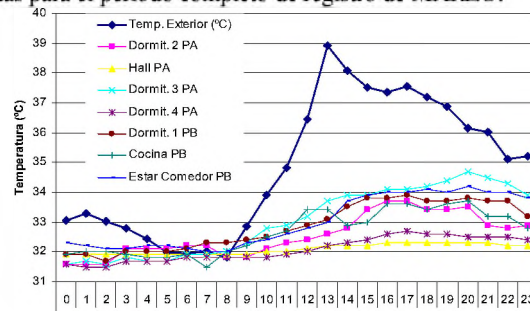


Figura 7: Temperaturas interiores simuladas con Ecotect en la vivienda R15, para el 18/03.

## DISCUSIÓN

Para la muestra de viviendas simuladas mediante Ecotect se obtuvieron temperaturas interiores que, durante las 24 hs. del día (para el 18 de marzo) y durante el 60% del día (para el 14 de julio), se hallan fuera de la franja de confort definida. Con respecto a los resultados medidos, las curvas térmicas simuladas presentan, en general, valores de temperatura cuyas diferencias se encuentran en el rango de  $\pm 2,00$  °C a  $\pm 3,7$  °C aproximadamente, sin que se haya registrado un lapso horario en particular en que estas diferencias sean mayores con respecto a otro. Las mayores discrepancias en cuanto a temperaturas medidas y simuladas se obtuvieron en los espacios definidos como de “circulación” de las viviendas (pasillos, pasos), lo que podría deberse a que, como espacios de circulación, sus condiciones de uso serían más variables que las de otros locales (como dormitorios y cocinas) que responden a rutinas de uso fijas, lo que además estaría mostrando la gran incidencia de los perfiles de ocupación en las evoluciones térmicas resultantes.

En general, considerando los resultados obtenidos para la muestra de viviendas, se ha encontrado un aceptable grado de ajuste y aproximación entre las tendencias y resultados medidos en campo con respecto a los simulados con Ecotect (a pesar de las discrepancias en cuanto a valores numéricos, los resultados generales de tendencias de evolución de temperatura son similares), lo que constituye un aporte a la validación de los resultados de las simulaciones de comportamiento térmico de las viviendas y demuestra que las mismas podrían ser usadas con razonable grado de confiabilidad para simular períodos del año no monitoreados, así como para implementar mejoras que optimicen el nivel de confort térmico de los usuarios de viviendas ya construidas y en etapa de uso, y para formular propuestas de optimización del desempeño higrotérmico de futuros emprendimientos constructivos habitacionales (así como de otras temáticas arquitectónicas) urbanos e incluso regionales, en la etapa de diseño, que además contribuyan a la reducción del consumo eléctrico regional.

## ACCIONES DE MEJORAMIENTO A FUTURO

Partiendo de las situaciones de deficiencias de desempeño higrotérmico en las viviendas monitoreadas y simuladas, que mostraron para el período cálido temperaturas interiores por encima de los 31,5°C durante las 24 hs., se realizó, para cada vivienda de la muestra, una propuesta de mejoramiento de sus envolventes, y mediante simulaciones realizadas con Ecotect, se realizaron comparaciones de los desempeños higrotérmicos, tanto de la situación real (medida y simulada) como de la situación optimizada propuesta, verificándose, en ésta última, mejoras del desempeño, tanto térmico como energético.

Las propuestas de rediseño planteadas no tuvieron por objetivo principal modificar completamente la arquitectura de las viviendas del muestreo, sino que se buscó aumentar la eficiencia de su desempeño higrotérmico por medio de adecuaciones del partido, morfología, composición de componentes y disposiciones tecnológicas. De esta manera, y modificando variables (como, por ejemplo, incorporación de aislación térmica en muros exteriores y techos, uso de protecciones exteriores de los paramentos, cambio de orientaciones de aventanamientos, y otras) y ensayándolas mediante las simulaciones dinámicas, se pudieron detectar aquéllas de mayor incidencia en el desempeño térmico-energético de las viviendas, a la vez que inferir algunos criterios para paliar los problemas de desconfort detectados. A partir de los resultados obtenidos, surgieron algunas pautas o premisas para optimizar el diseño de estas edificaciones: *mejorar la capacidad aislante y proteger los paramentos exteriores mediante galerías o aleros; crear entretechos ventilados; utilizar mayor aislación (resistencia) o masa térmica (capacitancia); posibilitar ventilación natural cruzada; utilizar colores claros en los paramentos externos; utilizar pisos externos no reflejantes; aumentar el uso de vegetación externa, como generadora de sombras sobre los volúmenes construidos.*

Mediante estos criterios generales básicos, sería posible, según los resultados simulados, reducir las cargas térmicas (ganancias) excesivas en verano, la estación crítica en términos de confort en la zona muy cálida – húmeda, sin que el uso de medios activos de acondicionamiento del aire sea tan intensivo como lo es en la situación actual. A priori, resultaría sesgado afirmar que la reducción del consumo eléctrico regional puede basarse sólo en aplicar determinadas pautas de diseño y en formular soluciones tecnológicas para los componentes edilicios, pero las tipologías constructivas analizadas (y las propuestas de optimización modelizadas y simuladas en una muestra de ellas), representan sin grandes diferencias al universo

de las viviendas sociales construidas en *Corrientes y Resistencia*, por lo que se puede inferir que efectivamente es posible una reducción del consumo energético a través de la implementación práctica y efectiva de tales premisas, afirmación basada en la realización de simulaciones con el programa Ecotect, para las viviendas de la muestra en su situación real y en la situación mejorada propuesta. Mediante este programa se obtuvieron índices de consumos de energía eléctrica para los días simulados (KW que consumiría, durante las 24 hs. del día, un equipo electromecánico de acondicionamiento térmico, durante el lapso de ocupación fijado), en ambas situaciones, real y propuesta, para mantener en cada zona de las viviendas las condiciones de confort predeterminadas, habiéndose obtenido en la propuesta una reducción del consumo eléctrico del orden del 21%.

## CONCLUSIONES

Se expusieron los resultados generales obtenidos mediante una campaña de relevamiento de cincuenta tipologías de viviendas sociales de las provincias de Chaco y Corrientes, así como del análisis tecnológico – constructivo y la realización de mediciones experimentales de desempeño higrotérmico (durante un período de marzo y otro de julio de 2010, que incluye, tanto días con temperaturas típicas de verano de esta zona cálido-húmeda, como días con temperaturas típicas de invierno), corroboradas por simulaciones mediante el programa Ecotect, en una muestra de dichas viviendas. A través de estas actividades, el equipo de trabajo se familiarizó con el trabajo de monitoreo de parámetros y variables dinámicas en edificios de viviendas sociales en condiciones reales de ocupación, así como con sus efectos en las muestras analizadas. A partir de estas evaluaciones térmico-energéticas simples realizadas, complementadas con encuestas a los usuarios de las viviendas, se ha verificado que los espacios interiores de los conjuntos habitacionales sociales ejecutados desde 1975 en Corrientes y Resistencia en particular (y en la región Nordeste en general), presentan algunos problemas de desconfort de sus usuarios en relación al clima muy cálido-húmedo, debidos a deficiencias atribuibles a la baja resistencia térmica de las soluciones constructivas aplicadas a sus envolventes, que transmiten a los espacios interiores elevadas cargas de energía térmica, fundamentalmente durante el período estival.

Del análisis de las variables situacionales, funcionales y tecnológicas en forma conjunta sobre las distintas viviendas analizadas y luego de la realización de simulaciones dinámicas y su validación mediante monitoreo experimental (a través de la verificación de un razonable grado de ajuste entre las series medidas y las simuladas, expresadas a través de los coeficientes de correlación obtenidos), se verificó que dichas viviendas poseen en general un bajo nivel de habitabilidad higrotérmica, con altos porcentajes de desconfort mensuales durante el período cálido, y en menor medida durante el período frío, lo que genera la necesidad de la instalación masiva de equipos electromecánicos de climatización interior, para generar las condiciones de bienestar de los usuarios en dichos espacios, lo que a su vez repercute en la generación de un alto consumo de energía eléctrica.

A partir de la metodología de simulación, se ha verificado el amplio campo de posibilidades existente para evaluar el comportamiento térmico de viviendas (y edificios en general), así como las posibilidades de eventual optimización del comportamiento de cada zona modelizada, seleccionando y ensayando varios materiales de envolvente, orientaciones, disposiciones de vanos y tecnologías constructivas en general, metodología que representaría una herramienta muy útil como apoyo a las decisiones de diseño con resultados rápidos, sin demorar el proceso proyectual, posibilitando la evaluación de alternativas en las etapas iniciales del proyecto.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Corredera, C. et al (2006). *Emisiones de gases efecto invernadero y consumo de energía en torres de oficinas*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (Revista AVERMA). XXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES). Vol. 10. ISSN 0329-5184. Editores de ASADES. INENCO. Salta, Argentina.
- Di Bernardo, Á. et al (2008). *Estudio del desempeño térmico – energético de viviendas sociales en ciudades del NEA*. Tercer congreso uruguayo y Segundo congreso regional de gestión de la calidad, patología y recuperación de la construcción (ALCONPAT). Diciembre de 2008. Montevideo, Uruguay.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM). Normas Técnicas Argentinas: 11601: 1996; 11603: 1996; 11605: 1996; 11625: 2000; 11630:2000. Buenos Aires, Argentina.
- Jacobo, G. J. et al (2009). *Simulación térmico-energética de techos de viviendas de interés social del NEA mediante "ECOTECT"*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA). Vol. 13. ISSN 0329-5184. Editores de ASADES. INENCO. Salta, Argentina.
- Marsh, A. J. (2003). ECOTECT Tutorials. Square One research PTY LTD. Traducción propia.

**RECONOCIMIENTOS:** Este trabajo expone datos obtenidos durante el desarrollo del proyecto de investigación titulado “Evaluación térmico-energética de equipamientos habitacionales sociales en las ciudades de Corrientes y Resistencia”, PI 042/07 - SGCyT – UNNE (Director: G. J. Jacobo y Codirectora: H. M. Aliás. Inicio: 01/2008 – Finalización 12/2010).

**ABSTRACT:** Having completed a data collection and surveys about fifty types of social houses massively applied in the provinces of Corrientes and Chaco, officially managed by programs at different stages, we worked with the objective of developing a diagnosis of thermal performance and energy consumption of these houses, of interest considering that the provincial and regional energy landscape is characterized by high energy consumption for air conditioning. By measurements on a representative sample of these houses, contrasted with simulations using specific software (Ecotect) has verified that its interior spaces have problems regarding the comfort of their users in relation to warm-humid climate, mainly during the summer period partly due to the low thermal resistance of the constructive solutions applied to the surround and low use of insulations in walls and roofs. The identified problems were used to guide the proposal of improvements.

**Key-words:** thermal performance, energy consumption, social houses, monitoring, simulations.