

MONITOREO Y SIMULACIONES DE DESEMPEÑO HIGROTÉRMICO DE VIVIENDA SOCIAL UNIFAMILIAR EN LA CIUDAD DE RESISTENCIA, EN DÍAS DE VERANO E INVIERNO

H. M. Aliás¹; G. J. Jacobo²; V. A. Gallipoliti³; P. E. Martina⁴; J. J. Corace⁴; M. R. Aeberhard⁴; A. Di Bernardo⁵

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: Se presentan los resultados del monitoreo de desempeño higrotérmico de una vivienda social unifamiliar de la ciudad de Resistencia, comparados con los que resultan de la simulación del modelo mediante los programas ECOTECT y QUICK II, con el objeto de detectar posibles problemas de desconfort. El aceptable ajuste y grado de aproximación encontrado entre los resultados monitoreados respecto de los simulados, así como el aporte particular de cada programa, demuestra que los mismos podrían ser usados con buen grado de confiabilidad como herramienta de diseño. Por los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta que la vivienda analizada constituye una tipología constructiva representativa de los conjuntos habitacionales sociales regionales, constituye un caso de condiciones higrotérmicas deficientes durante días típicos de verano de esta zona cálido-húmeda, y regulares durante días de invierno moderado típicos, que hace imperativo el uso de climatización artificial de los espacios, especialmente en el período cálido.

Palabras clave: monitoreo, simulaciones, desempeño higrotérmico, vivienda social.

INTRODUCCIÓN

Existen numerosos antecedentes de evaluación de desempeño higrotérmico y energético en viviendas, especialmente de interés social. El parque habitacional social en Chaco y Corrientes (y del país en general), ha sido ejecutado sin incorporación de técnicas adecuadas de habitabilidad higrotérmica y racionalidad energética (Di Bernardo, Jacobo y Aliás, 2008). Las normativas existentes, en particular las Normas IRAM, si bien han sido actualizadas, no son de aplicación obligatoria en estos aspectos (pues no están avaladas por leyes y códigos de edificación) y las prácticas parecieran apuntadas a resolver -en la mayoría de los casos- sólo la reducción del costo inicial de las viviendas de producción estatal. Queda para los usuarios resolver las deficiencias, las patologías debidas al tipo de ocupación, la reposición y mantenimiento y los altos costos operativos con sus recursos. En síntesis: costo inicial lo más bajo posible y no consideración del costo total en la vida útil del edificio. Costo total que en algunos casos triplica el costo inicial (Czajkowski y Brázzola, 2007). En el ámbito local de dos de las ciudades cabecera del NEA (Corrientes y Resistencia) se han llevado a cabo estudios de desempeños higrotérmicos y energéticos en viviendas sociales (Sogari et al, 2006; Boutet et al, 2007; Di Bernardo, Jacobo y Aliás, 2008) y se ha generado un cúmulo de experiencias que constituyen antecedentes directos del presente trabajo. El objetivo fue monitorear el comportamiento higrotérmico de una vivienda social unifamiliar de la ciudad de Resistencia (figura 1), durante un período de tiempo específico del mes de Marzo de 2010 y otro período del mes de Julio de 2010, y comparar los resultados monitoreados con los obtenidos mediante la simulación dinámica del modelo aplicando los programas informáticos ECOTECT v5.20 (Marsh, 2003) y QUICK II (Mathews, 1997). Se trató de determinar el grado de ajuste de las simulaciones con respecto a los datos medidos in situ y de detectar posibles problemas de desconfort (bienestar higrotérmico) en la vivienda analizada. Ello permitiría proponer, en instancias posteriores, alternativas de diseño en las etapas iniciales del proyecto, así como evaluar el comportamiento higrotérmico de diferentes programas arquitectónicos.

LA VIVIENDA BAJO ESTUDIO

La vivienda estudiada (figura 1) se localiza en el Barrio Santa Inés, del sector oeste de la ciudad de Resistencia, provincia del Chaco (Latitud: 27,45°; Longitud: 59,05° Oeste; Altitud: 52 msnm), implantada a “media” orientación (la normal a la fachada posterior forma un ángulo de 45° con respecto al Norte geográfico). Corresponde a un barrio de viviendas entre medianeras, de tipología duplex, en un terreno de 10,00 m. de frente por 15,00 m. de fondo, y con 98,6 m² de superficie útil cubierta total (ver tabla 1). Constituye una tipología representativa de las viviendas integrantes de conjuntos habitacionales urbanos de la región Nordeste de Argentina (NEA), por la masividad de su empleo, por las características de su partido arquitectónico, condiciones de implantación y vínculo con las viviendas contiguas, así como también por su organización formal y espacial y particularidades tecnológicas.

¹ Mgter. Arq. Esp. Prof. Univ. Investigadora FAU – UNNE. Co-directora proy. inv. SGCyT – UNNE.

² MSc. M. Ing. Arq. Prof. Univ. Investigador FAU – UNNE. Director proy. inv. SGCyT – UNNE.

³ Mgter. Ing. Electr. Prof. Univ. Investigadora FAU – UNNE.

⁴ Esp. Ing. Prof. Univ. Investigador Depto. Termodinámica - Grupo de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables (GIDER) - FI – UNNE.

⁵ Arq. Becario Programa Doctorado CONICET-UNNE

Constructivamente, el sistema de cerramientos se resuelve mediante ladrillos cerámicos huecos de 18x18x25cm., revocados exterior e interiormente. La estructura portante es de hormigón armado. La cubierta es de chapa galvanizada. El cielorraso de planta alta es independiente, de placas tipo aglomerado, con aislación térmica de lana de vidrio, y el de planta baja es aplicado bajo losa. El entepiso se materializa con losa alivianada de viguetas pretensadas. Las ventanas son de marcos y hojas de abrir de madera, con celosías exteriores (con un área efectiva de vidrio simple de 3mm. de espesor, de 0,95 m² - excepción hecha de los ventilucos de cocina y baño, de menor superficie-), en tanto que las puertas exteriores son tipo bastidor, de hoja de abrir y marco de madera, y las interiores son de placas de madera terciada con marcos metálicos. No existen elementos vegetales ni edificios que arrojen sombra a la vivienda. La vivienda se halla habitada por una familia de 5 integrantes. Integra un conjunto de cuarenta y cinco prototipos de viviendas sociales de las provincias de Chaco y Corrientes, relevadas y volcadas en una Base de Datos, como parte del proyecto de investigación titulado “Evaluación térmico-energética de equipamientos habitacionales sociales en las ciudades de Corrientes y Resistencia” (SGCyT – UNNE. Dirección: arq. G. J. Jacobo).

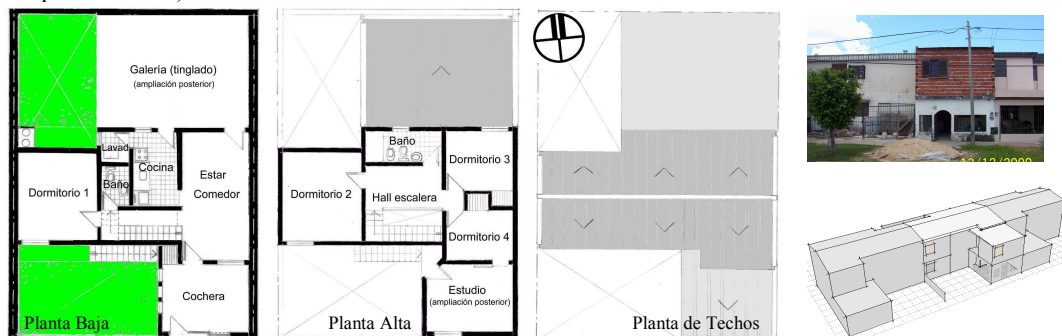


Figura 1: Vivienda en duplex del Barrio Santa Inés 2, de la ciudad de Resistencia. Plantas, volumetría y fotografía fachada.

MONITOREO EXPERIMENTAL

Se realizaron campañas de medición del comportamiento térmico de la vivienda durante dos períodos: en el mes de marzo de 2010 (once días corridos, desde el 11/03 hasta el 21/03, las 24 hs. de cada día) y en el mes de julio de 2010 (doce días corridos, desde el 05/07 hasta el 16/07, las 24 hs. de cada día). La vivienda estuvo en condiciones de uso normal durante el monitoreo (la misma se encuentra habitada). Las variables registradas durante el monitoreo (con una frecuencia de muestreo de 30 minutos) fueron: Temperatura ambiente exterior a la sombra; Temperatura de bulbo seco de los ambientes de la vivienda; HR de los ambientes de los locales de la vivienda; Irradiación solar global sobre superficie horizontal.

Previamente al inicio del monitoreo se contó con los datos técnicos de la vivienda (planos del legajo de proyecto y obra, relevamiento fotográfico, etc.), debiendo realizarse además un relevamiento de las modificaciones (ampliaciones) introducidas por el usuario al prototipo original, así como visitas de observación y encuestas, para detectar el patrón de comportamiento de los usuarios en los diferentes locales de la vivienda durante las distintas horas y días de la semana, en lo que respecta a: tipo de actividades y cantidad de ocupantes de cada local; grado de uso, tipo y cantidad de la iluminación artificial de cada local; patrones de apertura de ventanas y puertas por hora; y presencia, grado de uso, tipo y cantidad de artefactos.

Superficies Útiles (m ²)	P. baja	P. alta	Semicub.	Sup. libres	Vol. (m ³)
Estar – Com.	23.10				55.40
Cocina	6.63				16.00
Dormitorio 1	12.00				28.80
Baño	2.16				5.18
Lavadero	1.68				4.00
Dormitorio 2		12.00			31.20
Dormitorio 3		8.10			21.06
Dormitorio 4		7.80			20.30
Hall escalera		11.22			29.20
Baño		4.62			12.30
Estudio		9.30			27.00
Cochera			11.93		28.60
Gal. fondo			33.50		87.10
Jardín frente				19.22	
Patio trasero				18.00	
TOTALES	45.57	53.04	45.43	37.22	

Tabla 1: Planilla de superficies. Los locales agregados al prototipo original se indican en grisado.

Instrumental utilizado y metodología de empleo.

Como sensores de temperatura se utilizaron 7 termocuplas tipo “K”, previamente calibradas en el rango de temperaturas de trabajo. Los 7 sensores interiores se ubicaron “colgados” del centro aproximado del cielorraso de cada local (la figura 2 muestra la ubicación de sensores de temperatura en los locales de la vivienda), a una altura aproximada de 1,90 metros del nivel de piso (de modo de entorpecer lo menos posible las actividades normales de los usuarios), y fueron cubiertos en la parte superior y lateral por pantallas protectoras cónicas de papel de aluminio perforadas (para no obstruir el paso del aire),

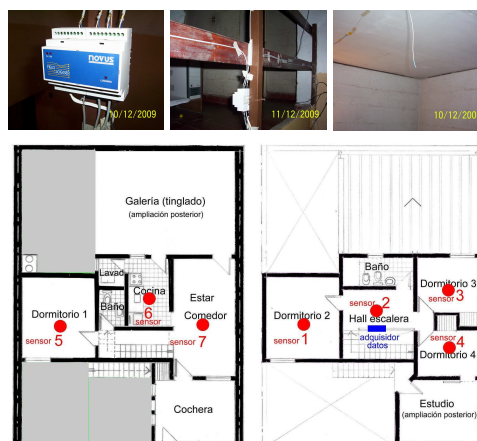


Figura 2: arriba, adquiridor de datos y sensores; abajo, plantas de distribución de los sensores.

destinadas a evitar interferencias en las mediciones por parte de radiaciones infrarrojas provenientes de las paredes y cielorrasos de los locales. Los sensores se conectaron 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 (figura 2). Previamente a la instalación en la vivienda del adquisidor de datos, se lo configuró mediante el software "Field Chart", que acompaña el equipo y corre sobre las plataformas Windows95 y/o superiores. 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. Como sensor de radiación solar global se usó un piranómetro termoelectrico (marca EPPLEY, tipo PSP N° 30155 F3).

Según ya se explicitó, se programó el registro de datos en dos periodos del año 2010:

- **MARZO:** desde el día 11 hasta el día 21, las 24 hs. de cada día, en intervalos de media hora.
- **JULIO:** desde el día 05 hasta el día 16, las 24 hs. de cada día, en intervalos de media hora.

Dichos periodos incluyen los días para los cuales dichas viviendas fueron simuladas con los programas específicos: jueves 18/03/2010 y miércoles 14/07/2010, que fueron los días más cálido y más frío de los dos periodos monitoreados, respectivamente. No se monitorearon in situ, aunque sí fueron modelados y simulados con Ecotect, los siguientes locales:

- Baños de planta baja y alta y lavadero de planta baja.**
- Cochera:** se trata de un ambiente semicerrado, pues dos de sus cuatro caras laterales se hallan abiertas al exterior, solo cubiertas por rejas para seguridad.
- Galería posterior (planta baja):** es un agregado, producto de una ampliación. No posee cielorraso y tiene un solo lado abierto totalmente al patio trasero.
- Estudio (planta alta):** agregado al prototipo original, pero aún no terminado. Se encuentra sin revoque (ni exterior ni interior) y sin cielorraso. Posee ventana pero aún no posee puertas, por lo que no puede cerrarse completamente.

Resultados.

Los valores de irradiación solar global sobre superficie horizontal y de temperatura ambiente exterior para ambos periodos registrados son las que se muestran en las figuras 3 y 4. Para MARZO, el periodo de registro de datos presentó temperaturas exteriores (entre 27 °C y 40 °C) representativas de días de verano extremos en la ciudad de Resistencia, así como datos de irradiación solar global máximos de 943 W/m² para las 13,30hs.aproximadamente. Para JULIO, el periodo de registro presentó temperaturas típicas invernales para esta zona (entre 6 °C y 18 °C) recién a partir de la madrugada del lunes 11/07, pues previamente los registros térmicos oscilaron entre 14-17 °C y 30°C. Los valores de irradiación solar global máximos registrados para este periodo fueron de 636 W/m² para las 12,30hs.

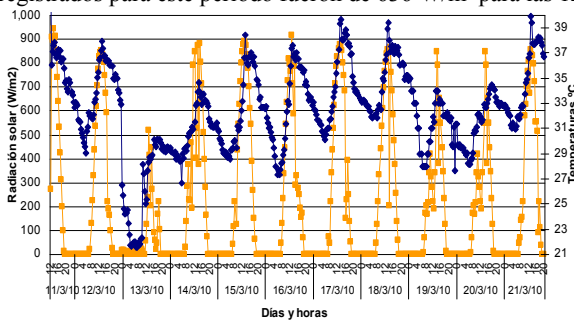


Figura 3: Registros de temperatura exterior y radiación solar en la ciudad de Resistencia, entre el 11/03/10 y el 21/03/10.

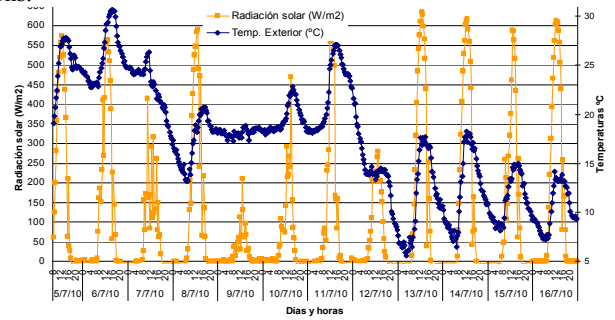


Figura 4: Registros de temperatura exterior y radiación solar en la ciudad de Resistencia, entre el 05/07/10 y el 16/07/10.

Los valores de temperaturas interiores de los locales de la vivienda, para el periodo del 14/03 al 20/03 y del 05/07 al 15/07, se exponen en las figuras 5 y 6, respectivamente.

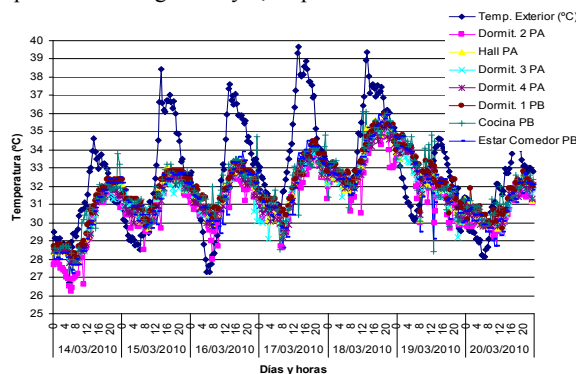


Figura 5: Evolución de temperatura interior en los locales de la vivienda, para el periodo 14/03 al 20/03/2010.

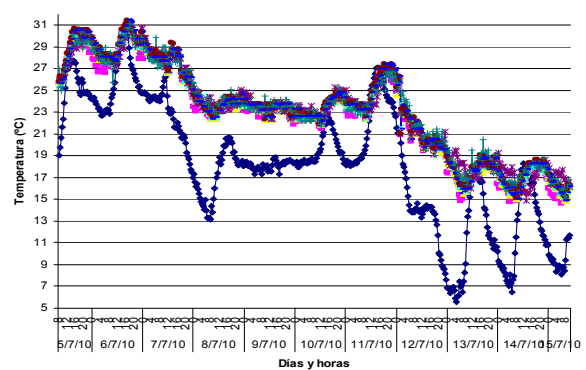


Figura 6: Evolución de temperatura interior en los locales de la vivienda, para el periodo 05/07 al 15/07/2010.

En general, la curva de evolución térmica para el registro, tanto del mes de MARZO como para el de JULIO, muestra que el *Dormitorio 1*, el *Estar – Comedor* y la *Cocina* (los tres, locales de planta baja), alcanzan temperaturas más elevadas con respecto al resto de los locales monitoreados, tanto nocturnas como diurnas. El efecto de la irradiación solar podría tener muy poca influencia en este hecho, en el caso de la *Cocina* y *Estar – Comedor*, que son locales que han quedado sin superficie de paredes al exterior, por la ampliación efectuada por el usuario con la anexión de la *Galería* posterior (si bien en ella no se instalaron sensores de temperatura, la misma sí ha sido modelizada y simulada mediante Ecotect, a los efectos de considerar la situación real de la envolvente de la vivienda). Por otra parte, tanto en el *Estar* como en la *Cocina*, hay un aporte de temperatura mayor que en otros locales debido a la concentración de mayor número de miembros de la familia con respecto a los otros locales, durante casi todo el día (tabla 4). La amplitud térmica de las curvas interiores es de aproximadamente 3°C (en promedio), en el registro de julio, a 5°C en el de marzo, (siendo la amplitud exterior de 11°C a 8°C, respectivamente). Los picos de temperatura interiores se registran con un retraso de 4 a 5 hs. con respecto a los exteriores (que ocurren a las 13,30 hs. aproximadamente). La *Cocina* alcanza picos térmicos 2°C superiores a los de los otros locales entre las 12,00 y las 13,30 hs., horario de preparación del almuerzo en la vivienda (con encendido de horno y otros artefactos eléctricos). De los locales monitoreados en planta alta (PA), el *Dormitorio 4* registra las temperaturas más altas con respecto a los otros locales de PA durante las 24 hs. El *Dormitorio 3*, orientado al NE, tiene temperaturas más altas por la mañana (entre las 10,00 y las 14,00 hs.), en tanto que el *Dormitorio 2*, con abertura al SO, registra temperaturas más bajas que la totalidad de los ambientes de la vivienda monitoreados (lo que podría deberse a que sólo recibe radiación solar difusa).

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) definido entre los 18°C y los 29°C (Alías y Jacobo, 2009), las temperaturas interiores registradas 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. Tan sólo en 3 días del período de registro se detectaron temperaturas levemente por debajo de los 29°C, en el horario comprendido entre las 6,00 y las 7,30hs. Para el período de once días monitoreados del mes de JULIO 2010, el 70% del tiempo las temperaturas internas registradas se encuentran dentro del rango de confort definido, para solamente descender por debajo de los 18°C a partir del día 13/07 (aunque a partir de este día, únicamente entre las 13,00 y las 22,00 hs. en promedio, las temperaturas interiores alcanzaron valores de hasta 20°C).

Los valores de evolución de temperaturas interiores de los locales de la vivienda, para el 18/03 y el 14/04, que fueron los días para los cuales se realizaron las simulaciones dinámicas, se exponen en las figuras 7 y 8, siendo válidas las generalizaciones acerca de la evolución de temperaturas efectuadas para el período completo de registro de MARZO, pero no así para el de JULIO, ya que el día 14/07 las temperaturas interiores registradas para todos los locales de la vivienda se mantuvieron debajo del límite inferior de la franja de confort (18°C) o apenas por encima de él (entre los 15°C y los 18,6°C) durante el horario comprendido entre las 14,00 y las 23,00hs.

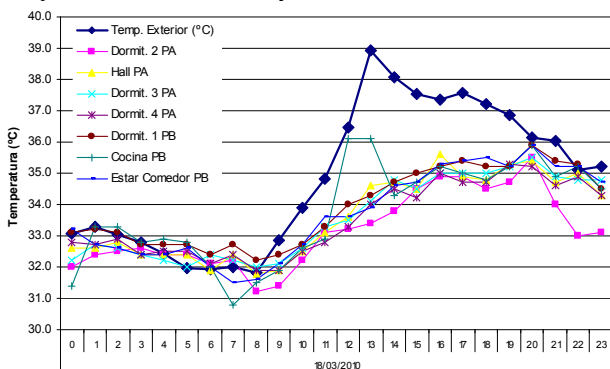


Figura 7: Registros de temperatura interior en los locales de la vivienda, para el 18/03/10.

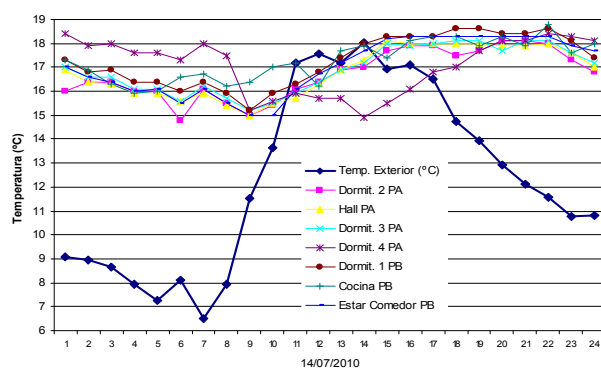


Figura 8: Registros de temperatura interior en los locales de la vivienda, para el 14/07/10.

Los datos meteorológicos exteriores registrados para el 18/03 y el 14/04 (días simulados) se exponen en las tablas 2 y 3.

Día	Hora	Radiación solar directa (W/m2)	Radiación solar difusa (W/m2)	Radiación solar total (W/m2)	Temp. Exterior (°C)	HR exterior (%)
18/03/2010	0	0	0	0	33.07	71
	1	0	0	0	33.27	71
	2	0	0	0	33.02	72
	3	0	0	0	32.79	73
	4	0	0	0	32.44	74
	5	0	0	0	31.97	75
	6	0	0	0	31.94	76
	7	0	0	0	32.00	75
	8	91	34	125	31.82	75
	9	276	61	336	32.86	71
	10	456	80	536	33.91	67
	11	600	98	697	34.81	61
	12	703	105	808	36.45	59
	13	747	112	858	38.92	52
	14	747	112	858	38.06	54
	15	655	107	761	37.52	54
	16	498	88	586	37.36	53
	17	310	68	378	37.56	52
	18	103	38	142	37.20	54
	19	0	0	0	36.86	61
	20	0	0	0	36.16	62
	21	0	0	0	36.03	71
	22	0	0	0	35.12	71
	23	0	0	0	35.22	71

Tabla 2: Registro de variables meteorológicas para el 18/03.

Día	Hora	Radiación solar directa (W/m2)	Radiación solar difusa (W/m2)	Radiación solar total (W/m2)	Temp. Exterior (°C)	HR exterior (%)
14/07/10	1	0	0	0	9.07	54
	2	0	0	0	8.94	56
	3	0	0	0	8.66	67
	4	0	0	0	7.96	71
	5	0	0	0	7.26	69
	6	0	0	0	8.13	67
	7	0	0	0	6.49	68
	8	13	65	78	7.94	60
	9	152	82	233	11.51	45
	10	314	94	408	13.66	31
	11	438	90	528	17.17	32
	12	512	90	603	17.58	37
	13	524	83	617	17.38	37
	14	477	84	561	18.03	36
	15	367	75	442	16.95	35
	16	58	17	75	17.1	34
	17	51	27	78	16.52	35
	18	0	0	0	14.72	36
	19	0	0	0	13.92	39
	20	0	0	0	12.93	42
	21	0	0	0	12.11	45
	22	0	0	0	11.58	48
	23	0	0	0	10.79	51
	24	0	0	0	10.81	51

Tabla 3: Registro de variables meteorológicas para el 14/07.

Como sólo se contó con datos medidos de irradiación solar global, los valores de irradiación directa y difusa se obtuvieron empleando el programa GEOSOL (Hernández, 2003), para obtener los porcentajes de irradiación directa y difusa para los días 18/03 y 14/04 y luego aplicar estos porcentajes a la irradiación global medida durante esos días.

PREDICCIÓN DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO MEDIANTE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN. COMPARACIÓN CON DATOS MEDIDOS

Se realizaron modelizaciones y simulaciones dinámicas de desempeño térmico de la vivienda con los programas informáticos ECOTECT y QUICK II. Se exponen los resultados obtenidos para las 24 hs. de los días 18/03/2010 y 14/07/2010, contrastando y comparando las evoluciones de temperaturas ambiente horarias obtenidas mediante la simulación con las temperaturas registradas esos días mediante los sensores instalados en la vivienda. Se tuvieron en cuenta, para la modelización y simulación, las condiciones de vínculo reales de la vivienda analizada con las viviendas contiguas. Las condiciones de ocupación reales de la vivienda monitoreada fueron cargadas en los ambos programas de simulación, con el fin de obtener una base homogénea de comparación: una familia de 5 miembros, con un patrón de comportamiento (grado de permanencia en las distintas zonas en cada hora del día y tipo de vestimenta y de actividad) que fue relevado in situ. También se definió una base homogénea de cargas internas en cada local monitoreado (calor convectivo, radiativo y latente generado por luminarias, computadoras, televisores, horno, heladera y otros aparatos de uso en la vivienda), a partir del relevamiento efectuado. Las condiciones mínimas de confort se fijaron según rangos usuales para la región y según consideración de datos de temperaturas de diseño medias definidas en la norma IRAM 11603/96 para Resistencia: entre 18°C (mínima para el confort invernal), con 70% HR, y 29°C (máxima para el confort estival), con 60% HR (Alías y Jacobo, 2009).

Modelización con ECOTECT.

ECOTECT es un software de análisis de edificios desarrollado en la Escuela de Arquitectura y Bellas Artes de la Universidad de Australia Occidental, que ofrece una interfaz 3D de modelización integrada con una amplia gama de funciones, para análisis solar, térmico, lumínico, acústico, de impacto ambiental y económico, entre otras, que permite modelizar y simular edificios de cualquier geometría y cantidad de zonas térmicas. Hace un análisis térmico a través del *Método de Admitancia*, usado para determinar las temperaturas internas y los consumos por calefacción y refrigeración (Marsh, 2003) del Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE). Si bien existe controversia sobre el uso del método de admitancia en el cálculo de rendimiento energético por consumo térmico (Varas Madrid, 2010), esta investigación no persigue encontrar valores de consumos, sino determinar posibles problemas generales de disconfort en la vivienda y comparar entre sí resultados medidos y simulados, lo que perfectamente puede ser logrado a través del programa.

Este programa aplica propiedades conocidas y tabuladas de materiales y componentes, como la admitancia, el factor de retraso térmico y el de decrecimiento térmico, para simular la respuesta del edificio en régimen transitorio. Un aporte considerable radica en la posibilidad de graficar la volumetría real del edificio a simular, con las proporciones exactas de llenos y vacíos, pendientes de cubiertas y ubicación de vanos. En cuanto a los datos de variables ambientales para la ciudad de Resistencia, y como el programa no tiene un archivo de clima de dicha ciudad, se debió editar un nuevo archivo para el período de registro de los meses de marzo (desde el 11/03/10 al 21/03/10) y julio (desde el 05/07/10 al 16/07/10) monitoreados, a través del módulo *The Weather Tool*, de ECOTECT, usando los valores horarios medidos. Para los días específicos en que se realizó la simulación (18/03 y 14/07), los datos meteorológicos ingresados al archivo de clima generado son los expuestos en las tablas 2 y 3. Estos datos, así como los datos del período completo de días de registro de MARZO y JULIO, fueron ingresados, tanto al nuevo archivo de clima editado en ECOTECT, como a la base de datos de clima del programa QUICK II. Una vez “dibujada” en ECOTECT la vivienda, con su distribución de locales (asimilados como diferentes “zonas térmicas” por el programa) según se indica en las figuras 9 y 10, se debieron asignar los materiales, capa a capa, de cada componente edilicio (muros, techos, pisos, aberturas) y sus respectivos coeficientes de conductividad térmica, densidad y calor específico, (a pesar de que, en la biblioteca del programa, cada material ya tiene predeterminados los citados coeficientes, se ajustaron estos valores según los valores tabulados en las normas IRAM de habitabilidad higrotérmica, incorporándose los a la base de datos de ECOTECT).

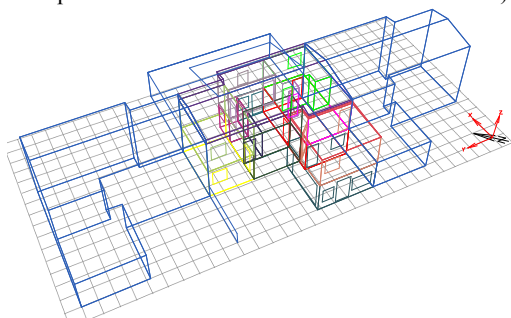


Figura 9: Modelización de la vivienda en ECOTECT.

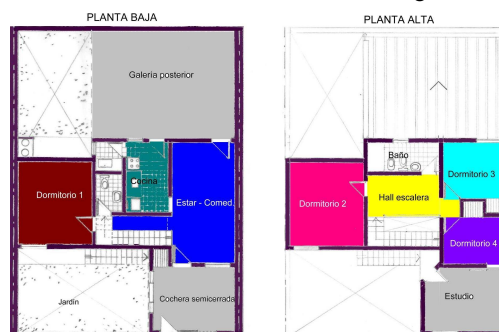


Figura 10: Esquema de las zonas térmicas de la vivienda.

Modelización con QUICK II.

QUICK II es un software que permite obtener tanto los valores de cargas térmicas necesarias para mantener la situación de confort con medios artificiales (equipo de aire acondicionado), como las fluctuaciones de temperatura internas en caso de no existir medios mecánicos de climatización. Permite calcular, en forma horaria, la cantidad de energía eléctrica (en KW) necesaria en cada zona definida para mantener en la misma las condiciones de confort fijadas, lo cual sirve para comparar, por ejemplo, los consumos reales de los edificios bajo análisis (según la empresa proveedora y facturadora del servicio de provisión de energía eléctrica) con los consumos simulados para mantener las condiciones de habitabilidad en ellos.

Se dividió a la vivienda en 7 zonas: *Estar – Comedor*; *Cocina*; *Dormitorio 1*; *Dormitorio 2*; *Dormitorio 3*; *Dormitorio 4* y *Hall de escalera*. En cuanto a los datos de variables ambientales, se editó un nuevo archivo, en la base se datos de clima, para el período de registro de marzo y julio en Resistencia, usando los valores medidos. Se cargaron, en la base de datos de materiales del programa, los valores de parámetros y propiedades de los materiales que constituyen cada componente edilicio de la vivienda. En cada zona definida se introdujeron los datos de tipos de ventilación, fracción de infiltración y condiciones de ocupación y cargas relevadas para el 18/03 y el 14/04. La tabla 4 muestra los horarios de apertura de ventanas y puertas ingresados al programa (por cada local), así como las condiciones de ocupación horaria.

Dia y Hora	18 de marzo de 2010							14 de julio de 2010						
	Hall PA	Dormit. 2 PA	Dormit. 3 PA	Dormit. 4 PA	Dormit. 1 PB	Cocina PB	Estar Com. PB	Hall PA	Dormit. 2 PA	Dormit. 3 PA	Dormit. 4 PA	Dormit. 1 PB	Cocina PB	Estar Com. PB
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														

Tabla 4: Cantidad de ocupantes de cada local de la vivienda y apertura de ventanas, por hora.

Resultados.

Las figuras 11 y 12 muestran la evolución de la temperatura horaria de los locales de la vivienda, para los días 18 de marzo y 14 de julio, respectivamente, según ECOTECH (en ellas no se incluyen las curvas térmicas obtenidas para los locales “Galería posterior”, “Cochera” y “Estudio de planta alta” para facilitar la comparación con las figuras 7 y 8, de mediciones in situ en los locales, y con las figuras 13 y 14, de resultados de la simulación con QUICK II, ya que para este último programa, las estancias semicubiertas no se incluyen en la simulación, aunque sí se considera el porcentaje de sombra que arrojan a las paredes de los locales contiguos). Para el día cálido, con ambos programas, 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 15,00 y las 21,00 hs. Para el día frío, con ambos programas se obtienen curvas térmicas internas que, casi durante el 60% del día, se hallan levemente por debajo del límite inferior de confort fijado (18°C).

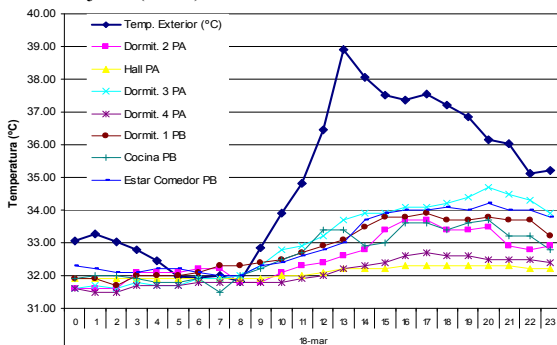


Figura 11: Evolución de temperaturas internas según ECOTECH, para el 18/03/2010.

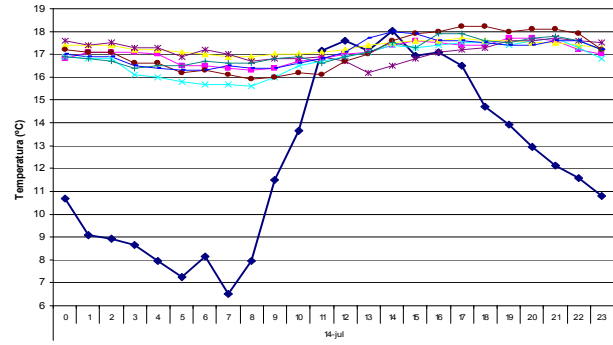


Figura 12: Evolución de temperaturas internas según ECOTECH, para el 14/07/2010.

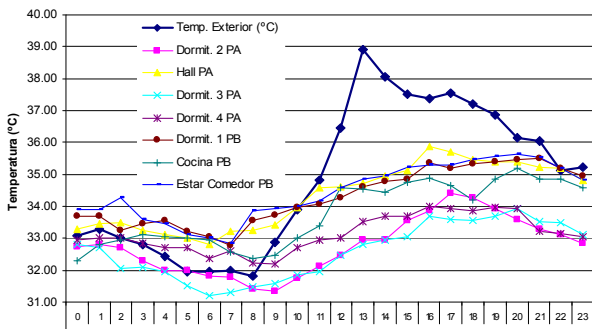


Figura 13: Evolución de temperaturas internas según QUICK II, para el 18/03/2010.

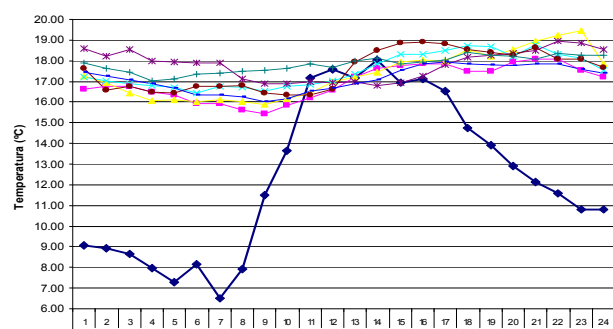


Figura 14: Evolución de temperaturas internas según QUICK II, para el 14/07/2010.

Según ECOTECH, para las 24 hs. del día cálido las temperaturas internas se hallan entre 31,5°C y 34,7°C. Los locales con temperaturas más elevadas para el día cálido son el *Dormitorio 3*; *Estar – Comedor*; *Dormitorio 1* y *Cocina* (esta última con picos entre las 12,00 y las 14,00hs.), es decir, fundamentalmente locales de planta baja, afectados por la restricción de ventilación a partir de la cobertura del patio. Las menores temperaturas del día cálido se obtuvieron para el *Hall de escalera* en PA y el *Dormitorio 4*. Las curvas térmicas interiores simuladas poseen una amplitud del orden de los 2,5°C, registrándose las mínimas en el horario de 2,00 a 6,00 hs. y las máximas entre las 14,00 y 20,00 hs.

Para el día frío, según ECOTECT, si bien las temperaturas interiores se mantienen el 95% del tiempo por encima de las exteriores, sus valores están por debajo de la mínima de confort fijada (18° C), salvo para el caso del *Dormitorio 1*, que apenas supera la mínima solo entre las 16,00 y las 22,00 hs. Una de las discrepancias con respecto a las curvas medidas en la vivienda es que el *Hall de escalera* en PA, según ECOTECT, para el día cálido, presenta las temperaturas más bajas de la serie, en tanto que las mediciones efectuadas ubican a este local como uno de los de mayor temperatura, lo que podría deberse a que, como espacio de circulación, sus condiciones de uso serían más variables que las de otros locales, 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.

Según QUICK II, para las 24 hs. del día cálido las temperaturas internas se hallan entre 31,2°C y 35,8°C. Los locales con mayores temperaturas para el día cálido son el *Estar – Comedor*; *Dormitorio 1*; *Hall de escalera de PA* y *Cocina*, en coincidencia con ECOTECT, salvo por la situación del *Hall de escalera*, que en QUICK II presenta temperaturas más altas, en mayor coincidencia con las mediciones realizadas. Las menores temperaturas del día cálido se obtuvieron para el *Dormitorio 3* (orientación de sup. vidriada: NE) y el *Dormitorio 2* (orientación de sup. vidriada: SO), ambos en PA. Las curvas térmicas interiores simuladas poseen una amplitud del orden de los 2,5°C a 3,00 °C, registrándose las mínimas en el horario de 3,00 a 7,00 hs. y las máximas entre las 14,00 y 20,00 hs. Para el día frío, según QUICK II, las temperaturas interiores (que son aproximadamente 2°C más altas que las obtenidas con ECOTECT) se mantienen casi las 24 hs. por encima de las exteriores, y su valor está por debajo de la mínima fijada (18° C) en el horario comprendido entre la 1,00 y las 13,00 hs.

Con respecto a los resultados obtenidos con ECOTECT, las curvas térmicas arrojadas por QUICK II presentan valores de temperatura cuyas diferencias se encuentran en el rango de +1,00 °C a +2,7 °C aproximadamente.

La simulación con QUICK II también permitió obtener índices de consumos de energía eléctrica (figura 15) para los días simulados (KW que consumiría durante el día un equipo electromecánico de acondicionamiento térmico, durante el lapso de ocupación fijado), para mantener en cada zona de la vivienda las condiciones de confort prefijadas. El consumo para calefaccionar la vivienda el 14/07 (día de invierno) representa el 57% del consumo para refrigerarla el 18/03 (día de verano).

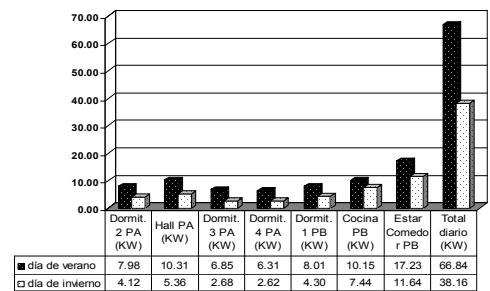


Figura 15: Consumos de electricidad para mantener el confort mediante equipos electromecánicos de climatización

Comparación de los resultados simulados con los datos experimentales. Regresión lineal. Grado de ajuste.

El trabajo de contrastación de los resultados arrojados por la simulación con los resultados medidos, se efectuó sobre la base de las dos columnas de trabajo, por cada local (columna de temp. medidas y columna de temp. simuladas), a las que se les aplicó un gráfico de dispersión. A este gráfico se le agregó la línea de tendencia y se obtuvo el coeficiente de correlación (R^2) resultante, que indica el porcentaje de ajuste de ambas series de datos (ver tabla 5).

GRADO DE AJUSTE ENTRE TEMPERATURAS MEDIDAS Y SIMULADAS, SEGÚN GRÁFICOS DE REGRESIÓN LINEAL

Día medido y simulado	Programa de simulación	Planta alta					Planta Baja	
		Dormit. 2	Hall PA	Dormit. 3	Dormit. 4	Dormit. 1	Cocina	Estar/Comedor
		(R^2)	(R^2)	(R^2)	(R^2)	(R^2)	(R^2)	(R^2)
18/03/2010	ECOTECT	0.87	0.81	0.91	0.85	0.87	0.88	0.91
	QUICK II	0.79	0.82	0.80	0.78	0.81	0.80	0.84
14/07/2010	ECOTECT	0.87	0.83	0.90	0.87	0.88	0.80	0.89
	QUICK II	0.80	0.84	0.82	0.81	0.82	0.81	0.83

Tabla 5: Grado de ajuste entre temperaturas medidas en la vivienda y temperaturas simuladas, para el 18/03 y el 14/07.

En general, se obtuvieron aceptables niveles de ajuste para ambos días simulados. Con ECOTECT, los mayores ajustes se lograron para el *Dormitorio 3* y el *Estar - Comedor*. Con QUICK II, en general se obtuvieron coeficientes de correlación menores. Como ejemplo, las figuras 17 y 18 muestran, para dos locales, las curvas térmicas medidas en comparación con las simuladas, y los gráficos de regresión.

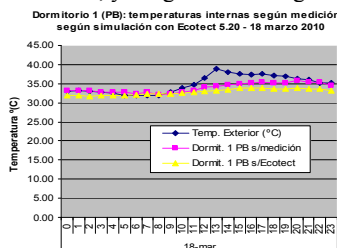


Figura 17: Ajuste entre datos medidos y simulados con Ecotect, para el Dormitorio 1, el día cálido.

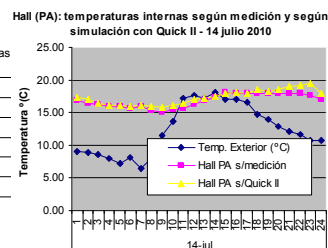
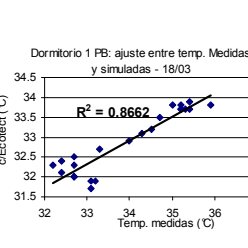
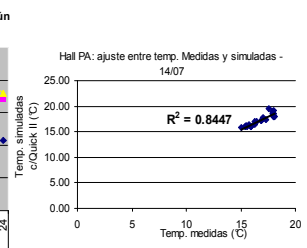


Figura 18: Ajuste entre datos medidos y simulados con Quick II, para el Hall de planta alta, el día frío.



CONCLUSIONES

Habiéndose realizado un monitoreo de desempeño higrotérmico de una vivienda unifamiliar habitada, de la ciudad de Resistencia (en condiciones reales de ocupación, para un período de 11 días de Marzo de 2010 y 12 días de Julio de 2010), y la contrastación del mismo con los resultados de simulaciones mediante los programas ECOTECT y QUICK II, se ha encontrado un aceptable grado de ajuste y aproximación, tanto entre las tendencias y resultados simulados con dichas herramientas informáticas entre sí, como entre los resultados simulados respecto de los monitoreados, lo que evidencia que la modelización física utilizada para las simulaciones es válida, aunque susceptible de ser optimizada.

Se han detectado problemas de desconfort (o déficits de bienestar higrotérmico), tanto a través de las mediciones y simulaciones como a través de los relevamientos in situ y encuestas a los usuarios, especialmente para el día cálido, con temperaturas interiores que, durante las 24 hs., se hallan fuera de la franja de confort regional definida. Para el periodo cálido, las mayores temperaturas de la vivienda (y consecuentes sensaciones subjetivas de desconfort) se registraron en locales como el *Estar – Comedor, Cocina, Hall de PA y Dormitorio 1*, los tres primeros con serias restricciones a la ventilación natural, debido a ampliaciones hechas por el usuario al prototipo original (que además, por haber quedado inconclusas, resultan deficientes desde el punto de vista de la aislación térmica). Para días del periodo frío, el porcentaje de horas levemente por debajo de la mínima de confort, resultó del orden del 55%, obteniéndose las menores temperaturas en espacios con orientaciones hacia el SO, como el *Dormitorio 2*, que reciben sólo radiación solar difusa durante el día y el *Dormitorio 4*, que no recibe radiación.

Por los resultados obtenidos, y teniendo presente que la vivienda analizada constituye una tipología tecnológico - constructiva representativa de los conjuntos habitacionales urbanos regionales, puede decirse que constituye un caso de condiciones de habitabilidad higrotérmica deficientes durante días típicos de verano de esta zona climática (cálido-húmeda) y regulares durante días de invierno moderado típicos, que hace imperativo el uso de climatización artificial en los espacios. En función de esto, se harían necesarias propuestas de mejoramiento que optimicen el nivel de confort térmico en viviendas construidas y en etapa de uso, extrapolables al diseño de nuevos y futuros emprendimientos habitacionales sociales, así como campañas de concientización entre los usuarios. Dados los grados de ajuste logrados, los programas de simulación empleados pueden constituirse en herramientas de apoyo a decisiones de diseño mejorado (desde el punto de vista del acondicionamiento ambiental) de emprendimientos habitacionales sociales de la ciudad, que además contribuyan a la reducción del consumo eléctrico residencial regional.

REFERENCIAS

- Alías, H. M. y Jacobo, G. J. (2009). *Evaluación de desempeño termo - energético de viviendas económicas del Nordeste argentino mediante simulaciones con "ECOTECT". Retroalimentación de proyectos*. Anales del 1º Simposio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído (SBQP). ISSN 2176 – 4549.– Universidad de São Paulo. São Carlos, SP – Brasil.
- Boutet, M. L. et al (2007). *Verificación del comportamiento térmico de un prototipo de vivienda familiar de madera mediante "Ecotect" y "Quick II"*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 11. Argentina. ISSN 0329-5184. Pp. 05.73 - 05.80.
- Czajkowski, J. D. y Brázzola, C. R. (2007). *Avances proyecto de investigación "Vivienda económica sustentable"*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 11. ISSN 0329-5184. Argentina. Pp. 05.159 - 05.166.
- Di Bernardo, A.; Jacobo, G. J.; Alías, H. M. (2008). *Desempeño térmico-energético de viviendas sociales del NEA. Simulaciones con la herramienta informática "Ecotect"*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12. ISSN 0329-5184. Argentina. Pp. 08.17 - 08.24.
- Hernandez, A. L. (2003). *Geosol: Una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 7, Nº2. ISSN 0329-5184. Argentina. Pp. 11.19 – 11.24.
- Marsh, A. J. (2003). ECOTECT Tutorials. Square One research Pty Ltd. Traducción propia.
- Mathews, E. et al. (1997). User's and reference manual for QUICK II. *A passive thermal design tool and load calculation computer program*. TEMMI. Transfer of Energy Mass and Momentum, Sudáfrica. International (Pty) Ltd. Traducción propia.
- Sogari, N. et al (2006) *Análisis del Comportamiento Térmico de un Prototipo de Vivienda Familiar de Madera*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 10. ISSN 0329-5184. Argentina.
- Varas Madrid, R. (2010). *Eficiencia energética. Tradiciones versus nuevas soluciones*. Educación y sostenibilidad. 6º Grupo. Simposio La Serena. Nº 70 – mayo / junio 2010. Universidad de La Serena, Chile. Disponible en: www.aq.upm.es/departamentos/urbanismo/publicaciones/ciur70_35.pdf. Acceso en: 16 de agosto.

ABSTRACT: It presents the results of the hygrothermal performance monitoring of a single-family house in Resistencia city, compared with the results from the simulation model using ECOTECT and QUICK II softwares, in order to detect potential discomfort problems. The fit and acceptable degree of accuracy found among the monitored results and the simulated ones and the unique contribution of each software, shows that these could be used with good degree of reliability as a design tool. From the results, taking into account that the monitored house is a representative building typology of the parking - house in the city, it's a case of poor hygrothermal conditions for typical summer days in a hot and humid area, and regularly for typical mild winter days, which makes it imperative to use artificial cooling of the spaces, especially in the warm season.

Key-words: simulations, monitoring, hygrothermal performance, social house.