

SIMULACIÓN TÉRMICO-ENERGÉTICA DE TECHOS DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL DEL NEA MEDIANTE “ECOTECT”

Jacobo, G. J.; Aliás, H. M.; Di Bernardo, A.

Cátedra Estructuras II. Área de la Tecnología. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional del Nordeste

Campus Resistencia – Av. Las Heras 727 – 3500 - Resistencia – Chaco - Argentina

Tel: (03722) 425573 - e-mail: gjjacobo@arq.unne.edu.ar / heralias@arq.unne.edu.ar

RESUMEN: El objetivo fue realizar un análisis teórico de los diseños higrotérmico-constructivos de tipologías de techos implementados en las viviendas de interés social de Corrientes y Resistencia a través de planes nacionales, desde el año 1970 a la fecha, para poder proponer soluciones mejoradas en futuros emprendimientos. Las tipologías de techos más representativas fueron simuladas a través del programa ECOTECT, versión 5.20. Se verificó que dicho software posibilita estudiar el comportamiento dinámico térmico-energético a nivel espacial de los componentes de las viviendas consideradas, procesando en poco tiempo gran volumen de información, y que por la naturaleza visual de regeneración del cálculo resulta muy útil en fases iniciales del proyecto. Los resultados de la simulación de los techos muestran deficiencias higrotérmico-constructivas, que además de producir *disconfort* sobre los usuarios, ocasionan un consumo excesivo de electricidad por la incorporación de equipos electromecánicos para generar las condiciones de habitabilidad mínimas necesarias.

Palabras Clave: desempeño térmico / energético- techos - viviendas económicas – ECOTECT

1. INTRODUCCIÓN

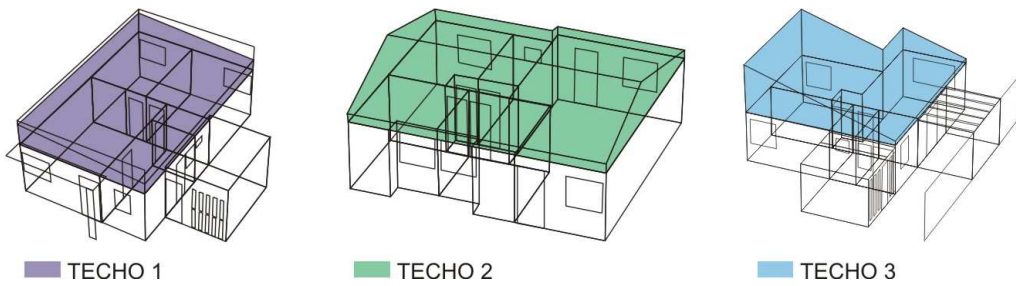
En el NEA, cuando la temperatura del aire alcanza el valor de 30° C (esto es, durante ocho o nueve meses al año), la gran mayoría de usuarios que posee equipos electromecánicos de acondicionamiento ambiental instalados, los pone en servicio, y de manera casi simultánea. Si estuvieran adecuadamente materializados los cerramientos perimetrales de los edificios (muros y techos), con dicha temperatura solo se necesitaría activar la ventilación artificial en los espacios interiores. Debido a esta situación la mayoría de las edificaciones posee equipos electromecánicos de acondicionamiento ambiental, que trabajan un promedio de 12 horas al día en el período estival. Otro factor que incide en esta situación es el uso masivo de la tecnología de la construcción “tipo FONAVI” en todo tipo de obra arquitectónica, sea un emprendimiento oficial o privado, la cual es realmente baja en “inversión inicial”, pero de altos costos durante toda la vida útil del edificio, debido al mantenimiento continuo que debe ser realizado, a los altos costos energéticos que genera y a la reducción de la calidad de vida de los usuarios (Aliás y Jacobo, 2004).

El techo es uno de los puntos más conflictivos de la construcción siendo necesario su correcto diseño tecnológico y constructivo, para lograr condiciones interiores de confort e higiene. Resolver adecuadamente el techo de los edificios tiene una fuerte incidencia en las condiciones, tanto de confort como de salud de los usuarios, así como de higiene de los espacios interiores (Pilar y Jacobo, 2000).

El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio y análisis crítico de los diseños tecnológico-constructivos de las tipologías de techos implementados en las viviendas de interés social de Corrientes y Resistencia, enfocando el análisis en el desempeño dinámico térmico-energético, a nivel espacial del edificio, mediante simulación informática con el programa ECOTECT (Marsh A. J., 2003), el cual 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. El estudio sistemático, mediante ECOTECT, del comportamiento dinámico térmico-energético de techos de viviendas de interés social regionales, permitiría detectar las debilidades en el diseño formal-tecnológico-constructivo implementados y así proponer recomendaciones de diseño (tecnológicas y formales si fueran necesarias) tendientes al logro de soluciones mejoradoras y recuperadoras del parque habitacional regional existente, y para futuros emprendimientos regionales habitacionales de interés social.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis del comportamiento térmico-energético de los techos se hizo en función de tres casos, que fueron tomados en función de su representatividad del conjunto de viviendas consideradas (cerca de 50), puesto que en todas las viviendas analizadas se utiliza alguna de estas soluciones. Los casos estudiados corresponden a techos livianos y semi-livianos, que entre la cubierta y el cieloraso conforman una cámara de aire, siendo las variables el material y el número de faldones. Esta cámara en todos los casos es estanca, por lo que luego de estudiar su funcionamiento según esta situación real relevada se simuló situaciones (ficticias) con posibilidades de ventilación. Los casos de viviendas analizadas de las ciudades del NEA o Unidades de Análisis (UA) se exponen en tabla I.



Prototipos	TECHO 1 – B° 250 Viviendas	TECHO 2 – B° CIR.SU.SE.PE.FA	TECHO 3 – B° Las Tejas
Cubierta	Cubierta a una sola agua de chapa acanalada de Hierro Galvanizado (H°G°) N°24 sobre estructura reticulada de hierro redondo común.	Cubierta a dos aguas de chapa acanalada de Hierro Galvanizado (H°G°) N° 24 sobre estructura metálica de perfiles “C”.	Cubierta a un agua de tejas cerámicas francesas sobre tirantería de madera.
Cielorraso	El cielorraso es independiente de placas de lana de vidrio enchapadas y perfilería metálica.	El cielorraso es suspendido de placas desmontables de yeso.	El cielorraso es independiente de entablado de pino 1"x4", con aislación térmica de espuma de polietileno de 5mm de espesor
Sup. Cubierta	51 m ²	67 m ²	47 m ²
Vol. de Cámara	38,4 m ³	58,8 m ³	52,5 m ³

Tabla I: Unidades de Análisis seleccionadas: viviendas de interés social de la Región Nordeste de Argentina representativas

En las simulaciones se consideró cada vivienda (con sus ganancias solares e internas y sus materiales constructivos constitutivos), en tanto que los techos se simulan como zonas térmicas independientes, adyacentes a las zonas inferiores en que cada vivienda es dividida y por lo tanto sensibles a las temperaturas que alcancen éstas. ECOTECT, para simular los distintos techos, no tiene en cuenta puentes térmicos. Los datos que es necesario ingresar al programa son, entre otros, coeficientes convectivos para las superficies interiores, propiedades térmicas de materiales, absorción solar. Además, el programa tiene en cuenta el intercambio radiante del techo con el cielo.

3. TEMPERATURAS POR HORA

Las figuras 1 y 2 muestran las temperaturas durante las 24 hs de la cámara de los distintos techos analizados, exponiéndose los días extremos anuales: el día “más cálido” y el “más frío”, correspondiente al 4 de Enero y al 11 de Julio, respectivamente, según datos horarios medidos durante todo el año de temperatura exterior, provistos por la estación meteorológica INTA – Colonia Benítez. Las líneas punteadas representan los valores climáticos externos de los días seleccionados, mientras que las líneas sólidas se corresponden con los valores de temperatura internas de los techos.

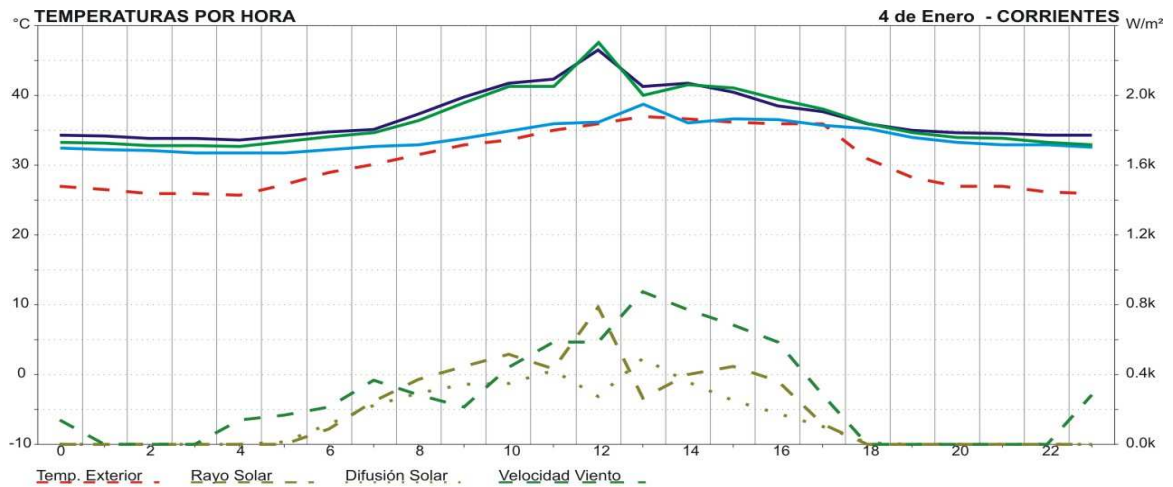


Figura 1: Temperaturas horarias durante el día más cálido para Corrientes, Capital. (Por “Rayo Solar” entiéndase radiación directa sobre superficie horizontal).

En los Techos 1 y 2, ambos de chapa, se observa que oscilan a la par de las temperaturas máximas y mínimas externas con un traspaso inmediato de la energía calórica. Además la temperatura interna de la cámara es, durante las 24 hs del día, considerablemente mayor a la exterior con pico a las 12 hs, momento en que el sol se encuentra casi perpendicular al plano de cubierta, debido a que se encuentra estanca funcionando como un gran colector sin posibilidad de disipar la energía acumulada.

El Techo 3, de tejas, tiene un comportamiento más parejo a lo largo del día, gracias a su mayor inercia térmica. Esta propiedad se puede observar claramente en el corrimiento del pico térmico para las 13 hs y en su mejor capacidad de aislación, puesto que todos sus valores son más bajos que los casos anteriores.

Durante el invierno el comportamiento de los Techos es muy similar al verano, grandes fluctuaciones a la par de las temperaturas exteriores para los Techos 1 y 2, mientras que existe una mayor estabilización de las temperaturas internas de la cámara en el Techo 3. Aquí la estanqueidad de la cámara es un potencial, puesto que no permite que el aire frío barra el calor acumulado durante el día.

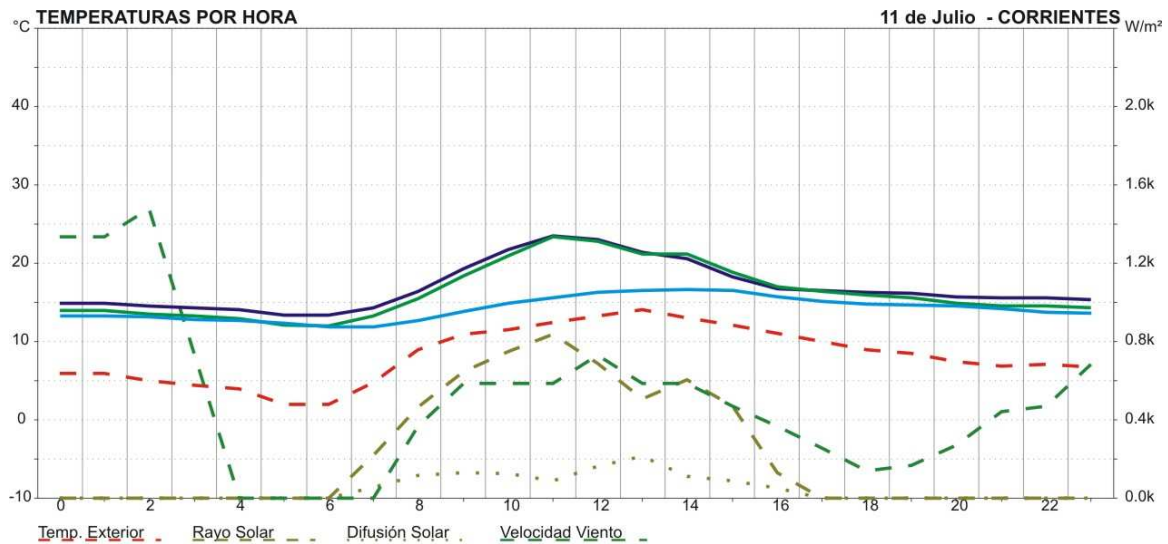


Figura 2: Temperaturas horarias durante el día más frío para Corrientes, Capital.

3.1. Temperaturas por hora considerando entretecho ventilado

Los valores térmicos obtenidos anteriormente se corresponden con el comportamiento de una cámara estanca, sin renovación de aire, que es como se presenta en la mayoría de los casos estudiados. Con el siguiente análisis se pretende visualizar cuales serían las consecuencias de ventilarlas.

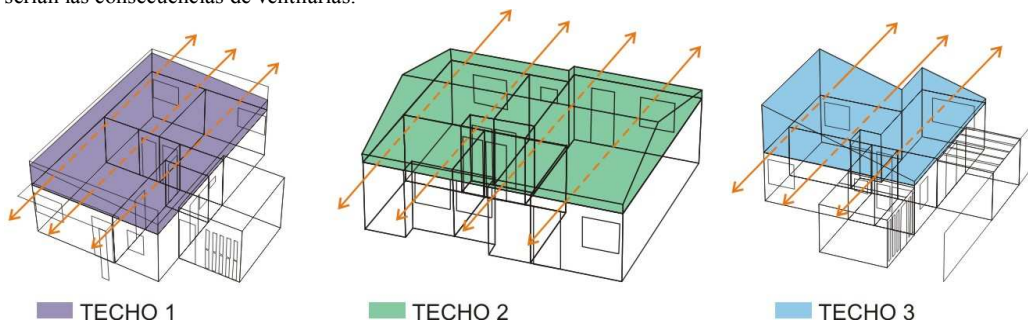
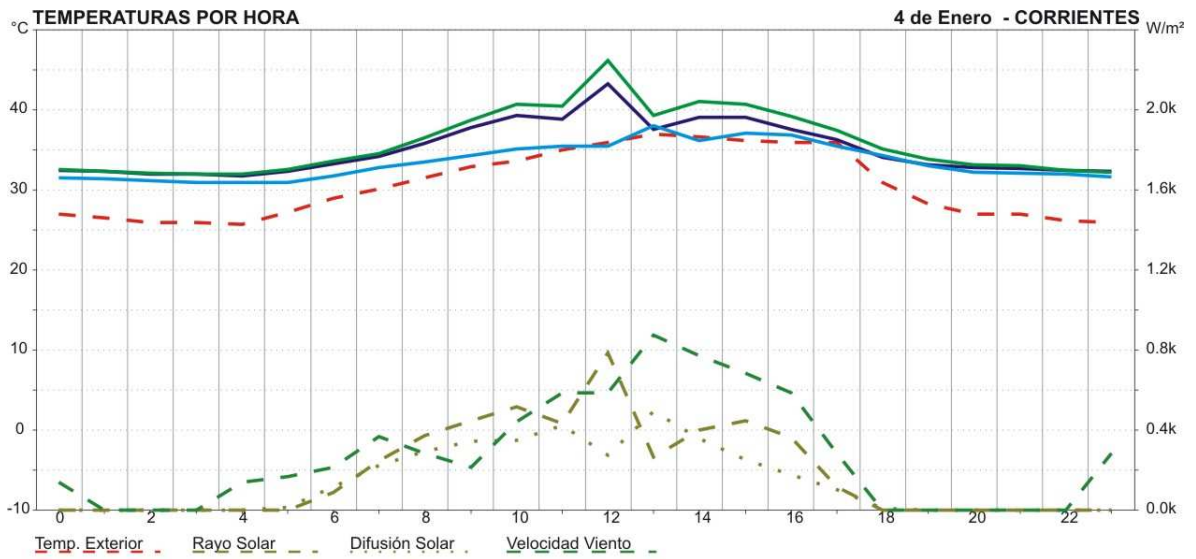


Figura 3: Esquema de las Unidades de Análisis considerando la situación (ficticia, propuesta) de entretechos ventilados.

Se registra con la simulación que las temperaturas interiores de las cámaras ventiladas, en verano, disminuyeron unos grados centígrados con respecto a la situación de cámaras estancas (figura 4). En invierno se da el mismo fenómeno, disminuyen las temperaturas internas de las cámaras con respecto a las estancas (figura 5).

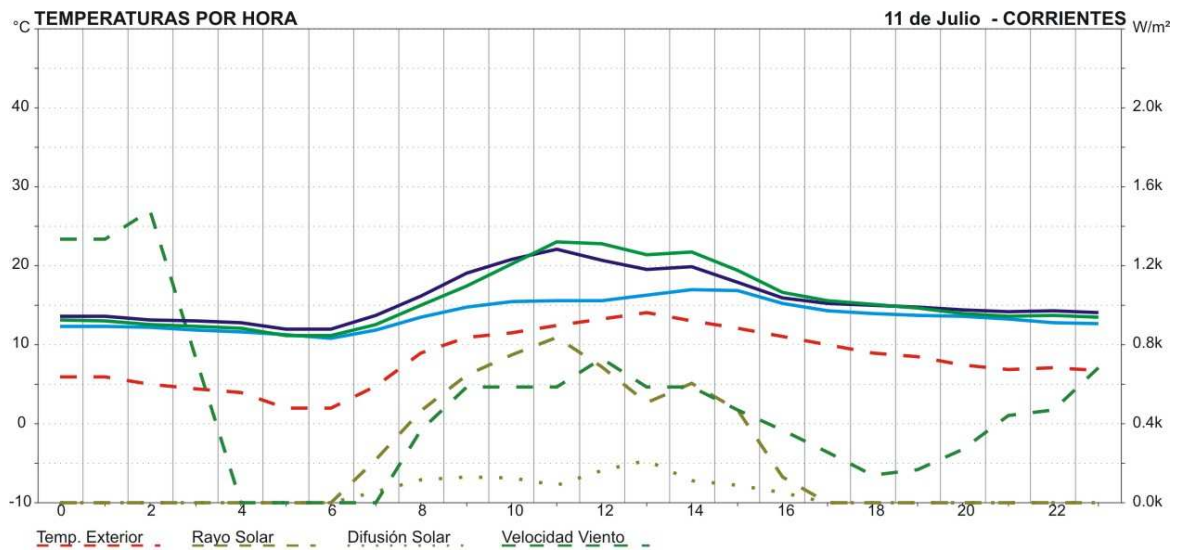
Pero existe otro fenómeno, que no fue estudiado en el presente trabajo, y es el de las condensaciones, siendo este uno de los factores que hacen necesaria la ventilación en las cámaras o entretechos.

La cubierta ventilada (o techo frío) resulta una buena solución constructiva para el verano para climas muy cálidos y húmedos, como el de Corrientes y Resistencia, ya que la sobrecubierta protege de la radiación solar directa del techo propiamente dicho, y para el invierno, ya que la ventilación que posee sobre la capa inferior, colabora con la eliminación del exceso de humedad evitando las condensaciones.



TEMPERATURAS POR HORA - 4 de Enero (día mas cálido del año)							
HORA	C° Exterior	Techo 1		Techo 2		Techo 3	
		C° Int.	Dif. °C	C° Int.	Dif. °C	C° Int.	Dif. °C
0	27,0	32,5	5,5	32,6	5,6	31,6	4,6
1	26,6	32,4	5,8	32,4	5,8	31,4	4,8
2	26,0	32,0	6,0	32,1	6,1	31,2	5,2
3	26,0	32,0	6,0	32,1	6,1	31,0	5,0
4	25,7	31,8	6,1	32,0	6,3	31,0	5,3
5	27,3	32,4	5,1	32,7	5,4	31,0	3,7
6	29,0	33,3	4,3	33,7	4,7	31,8	2,8
7	30,2	34,3	4,1	34,6	4,4	32,9	2,7
8	31,6	35,9	4,3	36,6	5,0	33,5	1,9
9	33,0	37,9	4,9	38,8	5,8	34,4	1,4
10	33,7	39,4	5,7	40,8	7,1	35,2	1,5
11	35,0	38,8	3,8	40,5	5,5	35,6	0,6
12	36,0	43,3	7,3	46,2	10,2	35,5	-0,5
13	37,0	37,6	0,6	39,4	2,4	38,1	1,1
14	36,7	39,1	2,4	41,0	4,3	36,2	-0,5
15	36,2	39,1	2,9	40,7	4,5	37,1	0,9
16	36,0	37,6	1,6	39,3	3,3	36,9	0,9
17	36,0	36,4	0,4	37,5	1,5	35,5	-0,5
18	31,0	34,2	3,2	35,2	4,2	34,3	3,3
19	29,3	33,2	3,9	33,9	4,6	33,1	3,8
20	27,0	32,8	5,8	33,2	6,2	32,3	5,3
21	27,0	32,7	5,7	33,1	6,1	32,1	5,1
22	26,2	32,5	6,3	32,5	6,3	32,0	5,8
23	26,0	32,4	6,4	32,2	6,2	31,6	5,6

Figura 4: Temperaturas horarias durante el día más cálido para Corrientes, Capital, considerando entretecho ventilado.



TEMPERATURAS POR HORA - 11 de Julio (día mas frío del año)							
HORA	C° Exterior	Techo 1		Techo 2		Techo 3	
		C° Int.	Dif. °C	C° Int.	Dif. °C	C° Int.	Dif. °C
0	6,0	13,7	7,7	13,1	7,1	12,4	6,4
1	6,0	13,6	7,6	13,1	7,1	12,4	6,4
2	5,0	13,2	8,2	12,6	7,6	12,3	7,3
3	4,5	13,0	8,5	12,4	7,9	11,9	7,4
4	4,0	12,8	8,8	12,1	8,1	11,7	7,7
5	2,0	12,0	10,0	11,2	9,2	11,4	9,4
6	2,0	12,0	10,0	11,2	9,2	10,9	8,9
7	4,8	13,8	9,0	12,6	7,8	11,9	7,1
8	9,0	16,2	7,2	15,0	6,0	13,6	4,6
9	11,0	19,2	8,2	17,5	6,5	14,9	3,9
10	11,6	20,9	9,3	20,2	8,6	15,5	3,9
11	12,5	22,1	9,6	23,1	10,6	15,6	3,1
12	13,3	20,7	7,4	22,8	9,5	15,6	2,3
13	14,1	19,5	5,4	21,4	7,3	16,3	2,2
14	13,1	19,9	6,8	21,8	8,7	17,0	3,9
15	12,1	18,0	5,9	19,4	7,3	17,0	4,9
16	11,1	16,0	4,9	16,6	5,5	15,3	4,2
17	10,0	15,3	5,3	15,6	5,6	14,4	4,4
18	9,0	15,0	6,0	15,1	6,1	14,0	5,0
19	8,5	14,9	6,4	14,7	6,2	13,8	5,3
20	7,5	14,4	6,9	14,0	6,5	13,6	6,1
21	6,9	14,2	7,3	13,7	6,8	13,3	6,4
22	7,1	14,3	7,2	13,7	6,6	12,9	5,8
23	6,8	14,1	7,3	13,6	6,8	12,8	6,0

Figura 5: Temperaturas horarias durante el día más frío para Corrientes, Capital, considerando entretecho ventilado.

4. PERFORMANCE ENERGÉTICA

La figura 6 expresa las ganancias o pérdidas energéticas a través de la superficie de la cubierta en Watts a lo largo del día, para el día más caliente para Corrientes, Capital (4 de Enero) y más frío (11 de Julio) del año, respectivamente. Luego a

través de la tabla II se intenta relacionar estas ganancias/pérdidas totales con el área de la cubierta para poder determinar la *Performance Energética* de cada superficie de intercambio.

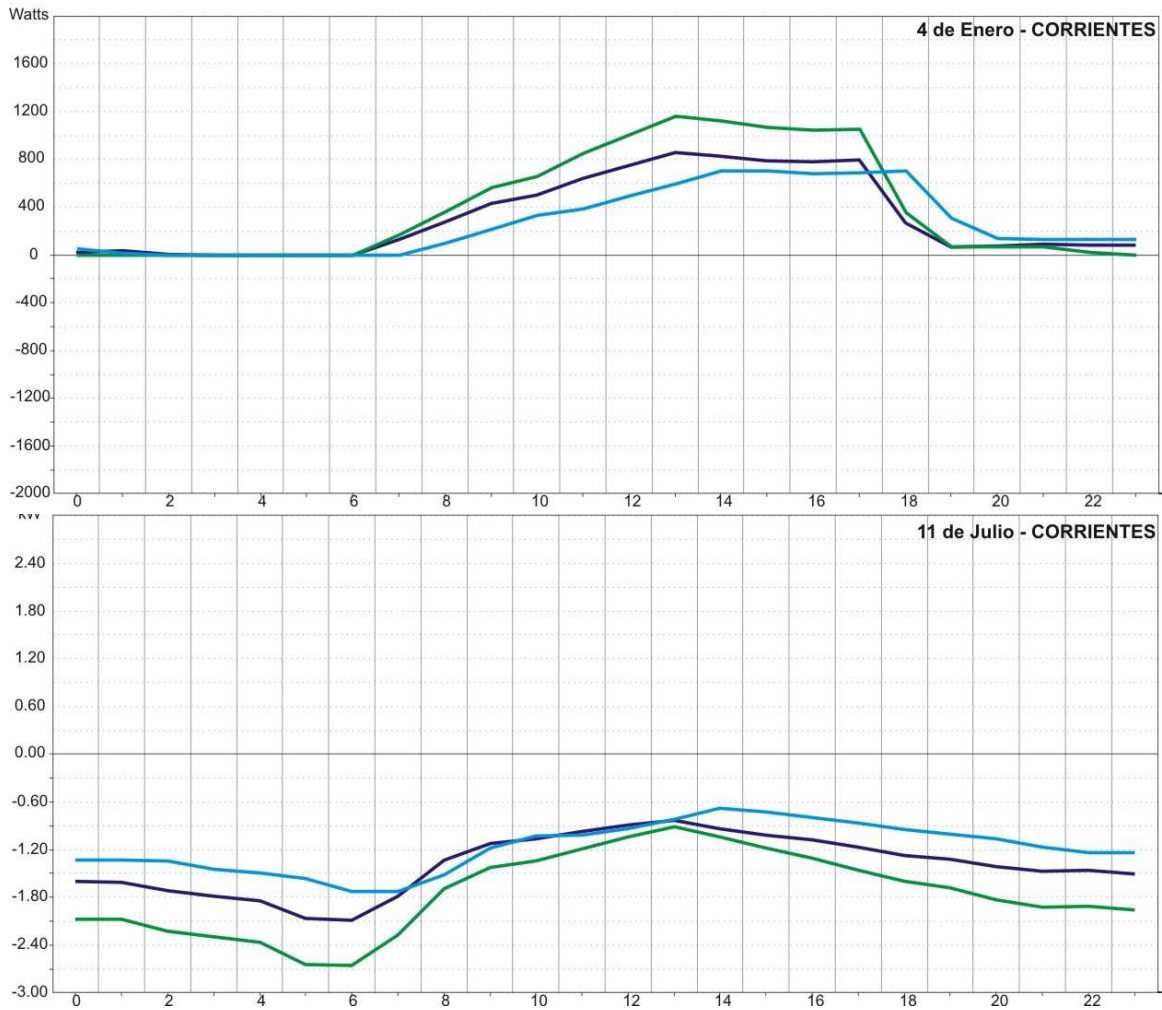


Figura 6: Ganancias o pérdidas energéticas a través de la superficie de la cubierta, en Watts.

Unidad de Análisis	Vivienda	Material del Techo	Estación	Gan./Perd. Watts	Sup Cubierta m2	Perf. E*** Watts/m2
Techo 1	Corrientes B° 250 Viviendas	Chapa H°G	Verano	7498	51	147
			Invierno	-33340		-654
Techo 2	Resistencia B° CIR.SU.SE.PE.FA	Chapa H°G	Verano	9613	67	143
			Invierno	-42118		-629
Techo 3	Corrientes B° Las Tejas	Tejas Cerámicas Francesas	Verano	6479	47	138
			Invierno	-28235		-601

*** La *Performance Energética* se refiere a las Ganancias o Pérdidas energéticas de la envolvente perimetral (cubierta) por unidad de superficie de intercambio.

Tabla II: *Performance energética de los techos considerados (valores integrados a lo largo del día).*

En la figura 6, de ganancia y pérdida calórica, se observa, para cada caso, que los valores se relacionan directamente con la superficie de intercambio de la cubierta, así en verano las máximas cuantías la tiene el Techo 2 con la superficie de intercambio mas grande mientras que el Techo 3 posee las mas bajas por su menor área de cubierta, lo mismo se repite en invierno con las pérdidas. Algo a destacar de los gráficos, es que en contraposición a las dos cubiertas de chapa, se expresa el retardo en el traspaso de energía calórica, de una hora aproximadamente, en el Techo 3 al igual que las menores fluctuaciones.

A través de la relación entre estas dos variables (Ganancia/Pérdida y Superficie de Cubierta) se pudo obtener la Performance Energética de las distintas soluciones, demostrándose que en realidad no existen grandes diferencias en cuanto al traspaso de energía calórica. Aún así, la solución del Techo 2 con faldón a dos aguas demuestra una leve mejoría ante el Techo 1, como también lo evidencia el cambio de material en la cubierta del Techo 3 que sumado a las características antes mencionadas de inercia térmica hacen de esta última la mejor solución utilizada dentro de todas las viviendas analizadas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los techos tienen una preponderante incidencia en el comportamiento higrotérmico de los espacios, pues están solicitados al 80% de la carga térmica anual (Pilar y Jacobo, 2000). Las causas principales del mal desempeño térmico obtenido a través de la simulación (que redundo en desconfort higrotérmico en los espacios interiores y alto consumo energético) radican en el defectuoso diseño tecnológico, y en los materiales de construcción utilizados.

En las tres Unidades de Análisis estudiadas con la herramienta informática ECOTECT, los comportamientos térmicos fueron bastante similares, pues los techos están compuestos por dos capas: la superior que brinda la aislación hidráulica y la inferior la aislación térmica, con un espacio intermedio, que materializa una “cámara de aire”, no constante en dimensiones y no siempre ventilada, pero que actúa en cierta medida como retardador del flujo calórico hacia los espacios interiores.

La mayor o menor eficiencia de este tipo de techos no macizos, depende del material de cubierta. Entre las soluciones adoptadas en Corrientes y Resistencia se encuentran las cubiertas de tejas, con un buen comportamiento térmico, y las de chapa galvanizada (la mayoría onduladas), con un rendimiento menor. Además, influye sustancialmente el tipo y espesor del material aislante que se utilice como cielorraso o sobre cielorraso (capa inferior del techo), en donde no se encontraron grandes variantes, siendo los materiales foráneos a la región (poliestireno expandido y lana de vidrio), los de uso más difundido (en detrimento de un material local y regional como la madera, por ejemplo).

Se detectó en los relevamientos del parque habitacional de Corrientes y Resistencia (figura 7), una baja presencia del dispositivo constructivo representado por los techos con entretecho ventilado, lo que podría interpretarse como debido a causas económicas en algunos casos, pero también podía obedecer a factores como el desconocimiento técnico y la mayor dificultad tecnológica para resolver en forma adecuada y satisfactoria los puntos de ingreso y egreso de aire con respecto a las soluciones de entretecho estanco.

Al ventilar las cámaras de aire de los techos se verifica, en la simulación, un comportamiento higrotérmico más adecuado para las condiciones climáticas regionales, comportándose el techo de tejas de manera más pareja durante todo el año, pues las temperaturas se mantienen dentro de una banda estrecha de temperatura, con fluctuaciones mínimas. Las otras dos tipologías “siguen” al comportamiento térmico del ambiente exterior, con fluctuaciones pronunciadas de la temperatura, que afectan a la estructura portante con dilataciones y contracciones pronunciadas, que son las causantes de fisuras generalizadas, tanto en las sobrecargas como en todos los paramentos verticales, y entrada de agua, ruido, polvo, y temperatura exterior. En techos con entretecho ventilado será necesario un adecuado diseño tecnológico constructivo de los puntos de toma y salida de aire para que la cámara de aire funcione correctamente, evitando, mediante dispositivos adecuados, el ingreso de insectos, roedores, etc.



Figura 7: Tipologías de techos representativas del parque habitacional de interés social de Corrientes y Resistencia, según los relevamientos realizados.

En cuanto al programa ECOTECT, su principal ventaja frente a otros programas de simulación, es la visualización gráfica en tres dimensiones de los resultados. Una vez realizada la descripción geométrica del modelo se puede realizar todo tipo de cálculos y modificaciones, ingresando o editando datos en forma progresiva, a medida que se ajusta el diseño, en forma rápida y eficaz (Boutet, M. L. et al, 2007).

6. CONCLUSIONES

Los resultados de la simulación de los techos muestran deficiencias higrotérmico - constructivas, que además de producir *discomfort* sobre los usuarios, ocasionan un consumo excesivo de electricidad por la incorporación de equipos electromecánicos para generar las condiciones de habitabilidad mínimas necesarias.

Los casos estudiados corresponden a techos livianos y semi-livianos, que entre la cubierta y el cielorraso conforman una cámara de aire, siendo las variables el material y el número de faldones. Esta cámara en todos los casos es estanca. Estos casos son representativos de las soluciones dadas a los techos del parque habitacional de interés social de las localidades de Corrientes y Resistencia (que a su vez reflejan la realidad constructiva de las provincias de las que son capitales: Corrientes y Chaco), desde el año 1970 hasta la actualidad.

Las causas principales del mal desempeño térmico obtenido a través de la simulación radican en el defectuoso diseño tecnológico y en los materiales de construcción utilizados.

Por su parte, el programa informático ECOTECH demostró ser una herramienta muy útil para contemplar el aspecto energético de la edificación, 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 (Di Bernardo, A. et al, 2008). Esta herramienta resultaría idónea para la formación académica de los actuales y futuros profesionales del diseño del hábitat, en pos de una arquitectura ambientalmente consciente.

REFERENCIAS

- Alias, H. M. y Jacobo, G. J. (2004). *Situación higrotérmica de componentes de la envolvente de viviendas de interés social en el NEA según normativa IRAM*. XXVII Congreso de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES) y XIII Encuentro de la Asociación Internacional para la Educación en Energía Solar (IASEE). Vol. 8. N°2. ISSN 0329-5184. Editores de ASADES. INENCO. Salta, Argentina. Págs. 5 y 6.
- Boutet, M. L.; Alias, H. M.; Busso, A. J.; Jacobo, G. J. y Sogari, N. (2007). *Verificación del comportamiento térmico de un prototipo de vivienda familiar de madera mediante "ECOTECH" y "QUICK II"*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA). XXX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES) y XVI Encuentro de la Asociación Internacional para la Educación en Energía Solar (IASEE). Vol. 11. ISSN 0329-5184. Editores de ASADES. INENCO. Salta, Argentina.
- Di Bernardo, A.; Jacobo, G. J. y Alias, H. M. (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). Montevideo, Uruguay.
- Marsh, A. J. (2003). *ECOTECH Tutorials*. Square One research PTY LTD. Traducción propia de los autores.
- Pilar, C. A. y Jacobo, G. J. (2000). *Funcionamiento Higrotérmico de techos en el NEA*. XXIII Congreso de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES). Vol. 4. ISSN N° 0329-5184. Resistencia, Chaco, Argentina.

ABSTRACT: The objective was to make a theoretical analysis of the hygrothermal - constructive designs of types of roofs built in the dwellings of social interest of Corrientes and Resistencia through national plans, since the year 1970 to the date, to be able to propose improved solutions in future undertakings. The most representative types of roofs were simulated through the program ECOTECH, version 5,20. It was verified that this software enables to study the dynamic thermal-energetic behavior to spatial level of the components of the respected dwellings, processing in little time a great volume of information, and that by the visual nature of regeneration of the calculation turns out to be very useful in initial stages of the project. The results of the roofs' simulation show hygrothermal – constructive deficiencies, that besides producing discomfort on the users, they cause an excessive consumption of electricity by the incorporation of HVAC to generate the conditions of necessary minimum habitability.

Keywords: Energy / thermal performance – Roofs - Economic dwellings – ECOTECH