



DESEMPEÑO TÉRMICO DE VIVIENDAS MÍNIMAS: CONJUNTO DEMOSTRATIVO DE TECNOLOGÍAS V CENTENARIO

**Arq.MSc Alicia Mimbacas (1), Ing.PhD Francisco Vecchia(2)
Arq.Ariel Ruchansky (3), , Arq.MSc.Gabriel Castañeda (4).**

(1)(3) Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República-Taller de Construcción, Bv. Artigas 1031-Montevideo-Uruguay, tel: 00598 2 4001106 int.153, e-mail: tallercon@farq.edu.uy; (2)Escola de Engenharia de Sao Carlos (EESC-USP), Avenida Trabalhador Sancarlense, no. 400, CEP: 13.566-900 - São Carlos (SP), tel: 0055 16 3373 9540, fax: 16 3373 9550, e-mail: fvecchia@sc.usp.br, (4) Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, Boulevard Belisario Domínguez 1081, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, tel. 01 961 61 5 42 48, etx. 4. e-mail: gnolasco@prodigy.net.mx

RESUMEN

Este trabajo transfiere la actividad realizada en la ciudad de Montevideo- Uruguay entre los días 30/8 y 5/9 del 2004, la cual se encuadra en el plan de trabajo del Proyecto XIV.8 CASAPARTES en relación a la evaluación de conjuntos demostrativos de tecnologías realizados en toda Latinoamérica a impulso de CYTED – HABITED- SUB PROGRAMA XIV.

El principal objetivo de este trabajo es presentar los resultados del monitoreo realizado y una evaluación primaria del desempeño térmico de 6 viviendas del Conjunto Demostrativo de Tecnologías V Centenario realizadas con diferentes sistemas constructivos en función de su adecuación a las condiciones climáticas locales. También es de interés mostrar las potencialidades del registro simultáneo de datos meteorológicos y de mediciones internas de temperaturas.

Este trabajo intenta correlacionar las características térmicas de los cerramientos con la sensibilidad de las respuestas de las mismas ante un día elegido como representativo del periodo monitoreado. Se brinda evidencia de la importancia que posee para el clima de Montevideo la aislación y la masa térmica, así como la orientación de los cerramientos vidriados.

Palabras llave: monitoreo, desempeño térmico, sistemas constructivos

ABSTRACT

This paper relates the activities carried out in Montevideo- Uruguay between 30/08 and 5/09 of 2004, as part of the work-plan of the "Proyecto XIV.8 CASAPARTES" in relation to evaluation of illustrative technologies of dwellings throughout SouthAmerica promoted by CYTED-HABITED-SUB PROGRAMA XIV

The aim objective of this work is to present the results of the monitoring study carried out and initial evaluation of the thermal performance of 6 dwellings of the "Conjunto Demostrativo de Tecnologías V Centenario" built using different constructive systems in accordance with their adaptation to local climatic conditions. This paper also aims to show the potential of the simultaneous recording of meteorological data and the measurements of internal temperatures.

This work attempts to correlate the thermal characteristics of building materials with the sensitivity of the responses given on a specific day chosen as representative of the whole period studied Evidence is provided of the importance of insulation and heat capacity of the materials used as well as the windows orientation.

Key words : monitoring, thermal performance, construction system.

1. LOCALIZACIÓN Y CLIMA

La ciudad de Montevideo está localizada en las coordenadas geográficas 34°52' latitud Sur y 56°12' W de longitud, al sur del territorio continental del Uruguay. A este le corresponde la clasificación de "Cfa" en la clasificación climática de Koeppen. Esto significa que el clima posee las siguientes características: templado, moderado, con lluvias irregulares, y con temperaturas del mes más cálido superiores a 22 grados Celsius.

El anticiclón semi-permanente del Atlántico influye sobre el desarrollo del tiempo en Uruguay. La circulación horizontal que origina establece que las direcciones predominantes del viento sean del NE al E y aporta masas de aire de origen tropical. El anticiclón del Pacífico provoca los empujes de aire de origen polar (dirección predominante del SW). Las temperaturas medias más altas se presentan en el mes de enero y febrero y las medias más bajas en junio y julio, de acuerdo a la región. Los cambios de temperaturas son frecuentes y pronunciados en cualquier época del año. Las normales climatológicas para los meses de agosto y setiembre correspondientes al período 1961-1990 (DNM, 1995) se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Normales climatológicas 1961-1990

| | Tx(°C) | txm(°C) | tmed(°C) | tnm(°C) | tn(°C) | HR(%) | HS(horas) |
|-----------|--------|---------|----------|---------|--------|-------|-----------|
| Agosto | 29.5 | 16.2 | 11.7 | 7.8 | -2.8 | 77 | 164 |
| Setiembre | 30.6 | 18.0 | 13.4 | 9.1 | -0.4 | 74 | 182 |

Ref: **tx**: temp. máx. absoluta; **txm**: temp. máx. média; **tmed**: temp. media; **tnm**: temp.mín. média; **tn**: temp. mínima absoluta; **HR**: humedad relativa (%); **HS**: insolación directa (horas)

3. METODOLOGÍA

3.1. Conjunto Demostrativo V Centenario

El Conjunto Demostrativo de Tecnologías V Centenario (CDTVC) fue realizado en el año 1994 en el marco de un convenio entre el Ministerio de Ordenamiento Territorial Vivienda y Medio Ambiente, la Facultad de Arquitectura y el Proyecto XIV.2 de la Red CYTED, en paralelo con el Segundo Curso Iberoamericano de Tecnologías Industrializadas para la Vivienda Social, bajo la coordinación del Arq. W. Kruk (CYTED, 1993).

En la construcción del CDTVC participaron 12 empresas nacionales y extranjeras, en una urbanización que fue objeto de concurso organizado por la Facultad de Arquitectura. Consta de 20 viviendas evolutivas aisladas o adosadas simétricamente, con algunas variaciones tipológicas y donde se utilizaron 13 tecnologías constructivas diferentes (Figura 1 y Tabla 2).

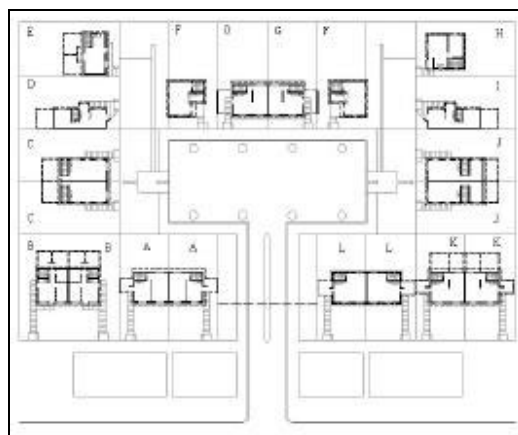


Figura 1. Planta de Conjunto Demostrativo de Tecnologías V Centenario

Tabla 2. Descripción de los sistemas constructivos empleados

| Muros | Techos | Muros | Techos |
|--------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| A Hormigón celular | Fibrocemento c/cielorraso | G Horm cavernoso | Loseta de horm. armado |
| B Cerámico hueco | Bovedilla cerámicas | H Horm prefabricado | Bovedilla cerámicas |
| C Hormigón prefabricado | Losetas horm. armado | I Horm prefabricado | Bovedilla cerámica |
| D Mortero proyectado | Mortero proyectado | J Losetas de cerámica | Losetas cerámica |
| E Mortero inyectado | Mortero inyectado | K Horm prefabricado | Fibrocemento c/cielorraso |
| F Mampuesto horm | Pre-losa horm. armado | L Cerámicos huecos | Fibrocemento c/cielorraso |

3.2. Descripción del periodo de monitoreamiento

3.2.1. Período analizado.

Durante el período 30/8 al 5/9 de 2004 fue realizado un registro automático de datos meteorológicos y del desempeño térmico de algunas de las viviendas del conjunto demostrativo. Las mediciones internas de temperaturas superficiales de muros y cielorraso y de temperatura del aire de bulbo seco se realizaron por termocuplas conectados a la estación automática de adquisición de datos meteorológicos. Las mediciones meteorológicas realizadas fueron: temperatura del aire exterior, humedad relativa y radiación solar global. Los datos fueron tomados cada 30 segundos, promediándose cada 30 minutos.

Durante este período actuaron sobre la región varios sistemas atmosféricos. A partir de 31/08, se puede observar la actuación de una masa polar de característica fría, que mantiene su vigor hasta el día 03/09 cuando se encuentra en fase de tropicalización (pierde sus características polares y comienza a perder o su rigor térmico).

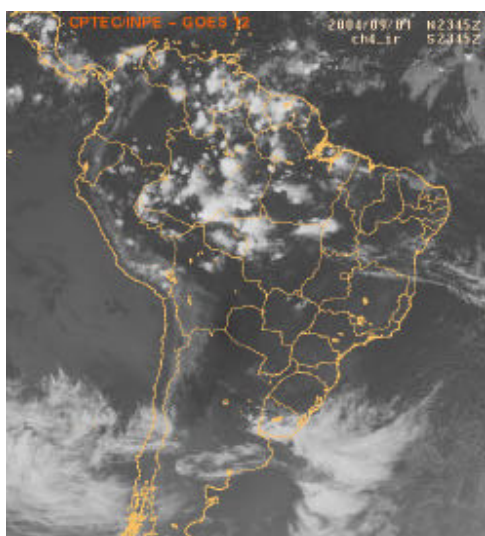


Figura 2. Frente frío pasando por el Río de la Plata el día 01/09/2004.

La última imagen del satélite GOES, del día 1 de setiembre (Fig. 2) muestra Mvdeo sobre el inicio de dominio de una masa polar que se encuentra en la retaguardia del frente frío, en ese momento avanzando en dirección del Rio Grande do Sul (Brasil). La línea posterior del frente frío, en la imagen de satélite, se encuentra exactamente sobre el estuario del Río de la Plata. Ese sistema atmosférico (masa Polar Atlántica-mPA) permaneció sobre la región, tropicalizándose al final (día 04/09).

En el período de su actuación, sus propiedades impusieron temperaturas reducidas, alcanzando el menor valor 7.3°C, en el día 03/09. Por lo tanto, ese día puede ser tomado como representativo del período como siendo el día mas frío.

3.2.2. Fluctuación de las temperaturas externas del aire.

La fluctuación de las temperaturas externas del aire puede ser observada por medio de la secuencia de días monitoreados, con sensor de temperatura y humedad del aire HMP45C, instalado en datalogger CR10X de Campbell Scientific Inc.

La Figura 3 expresa los valores de la humedad relativa y de la temperatura externa del aire, tomados cada media hora, correspondiendo a 180 puntos de medición por hora. Se observa a partir del día 01/09 valores menores de la temperatura, lo que corresponde a la actuación de la masa Polar. El día 03/09, debido a sus valores de temperatura, fue considerado el mas frío del referido período, por lo cual es considerado el día representativo del episodio climático monitoreado.

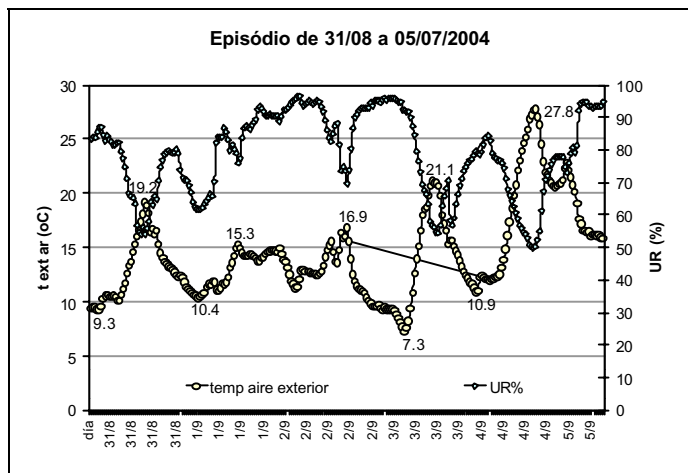


Figura 3. Valores de humedad relativa y de la temperatura externa del aire, tomados cada media hora, correspondiendo a 180 puntos de medición por hora.

3.2.3. Día típico experimental.

El día 03/09 puede ser considerado un día típico de actuación de una masa Polar, de vigor no muy intenso pero, que va a imponer las condiciones climáticas a las viviendas. De esta forma, se adoptó, en el informe, el día 03/09 como referencia para el estudio comparativo entre el comportamiento térmico de las distintas técnicas constructivas existentes en el CDTVC.

El día 03/09 se caracteriza por medio de sus temperaturas, consecuencia del sistema atmosférico actuante sobre la región del estuario del Río de la Plata, como el día que representa el mayor rigor de frío, consecuencia de las propiedades inherentes a esa masa Polar Atlántica. Bajo el dominio de una masa Polar las temperaturas alcanzaron su valor mínimo en este día, presentando una amplitud térmica de aproximadamente 14°C, con valores máximo y mínimo de, respectivamente, 21.1 e 7.3°C. En este, obviamente, puede compararse los valores de las temperaturas superficiales y del aire interior de las viviendas, evaluando las respectivas respuestas frente al frío.

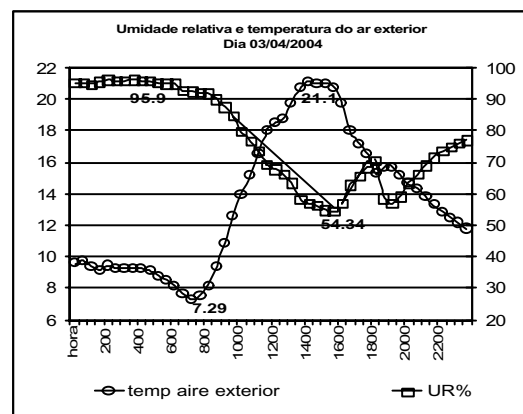


Figura 4. Curvas de humedad relativa y de la temperatura externa del aire del día 03/09, día considerado típico y representativo del episodio de monitoreamiento.

3.2.4. Elección de la muestra y caracterización de las viviendas.

Del total de 20 viviendas del CDTVC fueron monitoreadas 6 de ellas. Los criterios de selección de este grupo reducido de viviendas fueron:

1. Tecnologías usadas en muros y cerramientos horizontales
2. Disponibilidad de cantidad de metros de termopares
3. Posibilidad de acceso al interior de las viviendas.







La caracterización de las viviendas monitoreadas se muestra en la Tabla 3 (ALONSO, CALONE, BOZZO, 1996) y en la Tabla 4

Tabla 3. Descripción de los cerramientos de las viviendas monitoreadas

| Tipo | Muros | Techos | Tipo | Muros | Techos |
|----------|--|--|----------|--|---|
| A | Hormigón celular, d= 1500 kg/m ³ e=13cm | Chapa de fibrocemento + cielorraso de madera con cámara de aire | F | Mampuesto de hormigón con huecos, e=13cm | Prelosa de hormigón, e=5cm+ carpeta, e=3cm |
| C | 2 placas nervadas de hormigón con cámara de aire, e= 20cm | Loseta de hormigón. armado, e=3.5cm+ carpeta de hormigón, e=5cm + poliest.exp, e=2.0cm +relleno, e=5cm | G | Hormigón cavernoso, d=1800kg/m ³ e=20cm | Losetas de h.armado, e=4cm+ poliuretano, e=2.5cm+ ladrillo, e=5cm. |
| D | Mortero proyectado con alma de poliest ireno expandido, e= 13cm | Mortero proyectado con alma de poliestireno expandido e= 13cm | L | Mampuesto de hormigón con huecos, e=20cm | Chapa de fibrocemento+ cielorraso de madera con cámara+ poliestireno exp andido, e=3cm |

d: densidad; e: espesor

Tabla 4. Caracterización de las viviendas monitoreadas

| | A | C | D | F | G | L | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|------|
| |  |  |  |  |  |  | |
| Area (m ²) | 27.46 | 27.05 | 30.78 | 28.71 | 27.36 | 30.36 | |
| Area de muros (m ²) | 40.9 | 69.1 | 63.4 | 63.8 | 38.3 | 43.3 | |
| Area de techos (m ²) | 30.5 | 30.9 | 32.7 | 29.7 | 31.8 | 33.9 | |
| Umuros (W/m ² K) | 2.44 | 2.56 | 0.71 | 2.94 | 2.42 | 1.52 | |
| Utechos (W/m ² K) | 2.46 | 1.22 | 0.70 | 4.78 | 0.88 | 0.78 | |
| Uponderada (W/m ² K) | 2.45 | 2.14 | 0.71 | 3.52 | 1.72 | 1.19 | |
| Peso de muros (kg/m ²) | 180 | 154 | 171 | 153 | 360 | 187 | |
| Peso de techos (kg/m ²) | 20 | 277 | 172 | 168 | 175 | 20 | |
| Peso ponderado (kg/m ²) | 112 | 192 | 171 | 152 | 276 | 113 | |
| ABERT.(m ²) | SE | 2.4 | -- | -- | 2.00 | 3.36 | 2.64 |
| | SO | 0.74 | 0.36 | -- | 0.21 | -- | 0.32 |
| | NE-NO | 1.20 | 2.20 | 4.62 | 2.00 | 2.56 | 1.32 |

Umuros: Transmitancias de muros; Utechos: Transmitancias de techo; Uponderada Transmitancias ponderadas; ABERT: aberturas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 6 se presentan los resultados de las mediciones de la temperatura exterior, así como los valores de las temperaturas medidas al interior de las viviendas durante el episodio monitoreado. Se destaca el día 03/09, considerado típico y representativo del episodio de monitoreamiento.

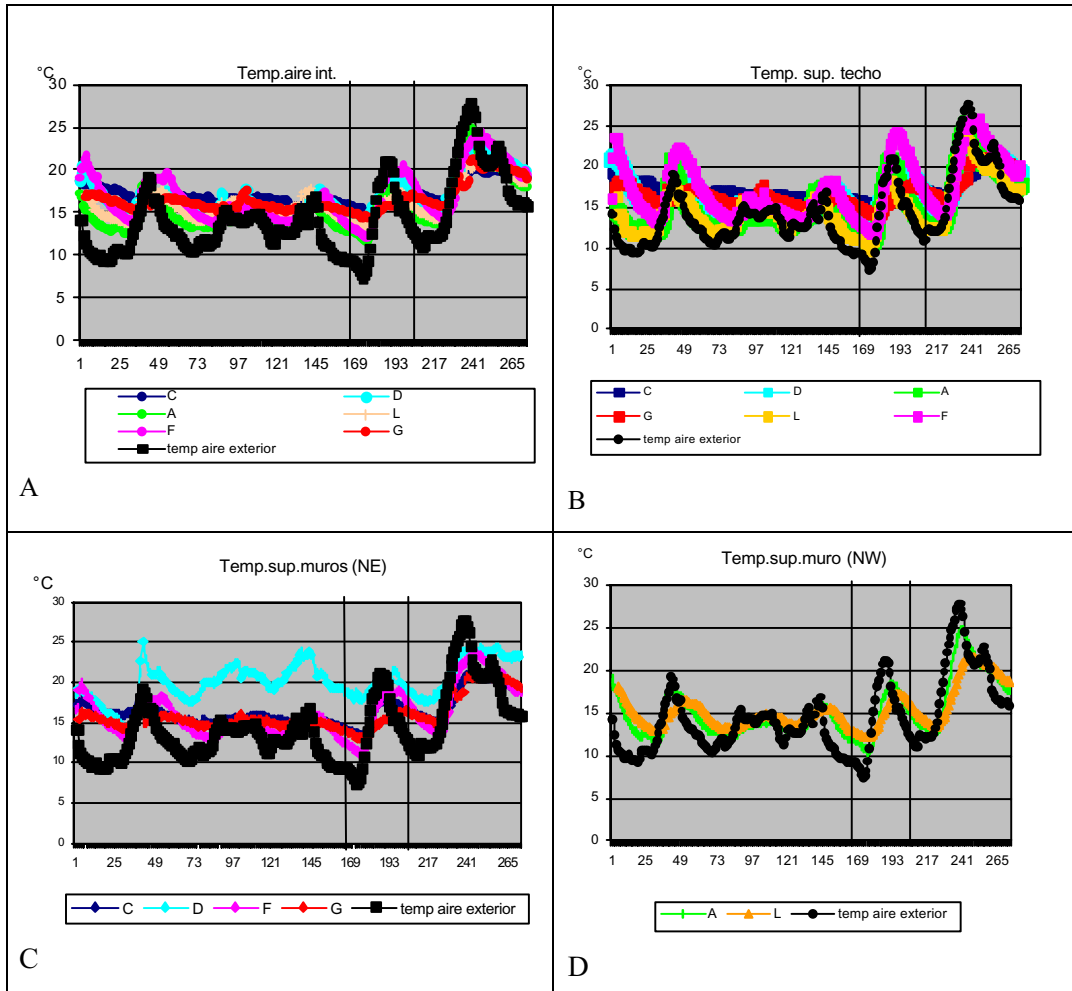


Figura 6. Mediciones de la temperatura al interior de las viviendas durante el episodio monitoreado. Se destaca el día 03/09, considerado típico y representativo del episodio. A: temperatura del aire; B: temperatura superficial de techo; C: temperatura superficial de muros al NE; D: temperatura superficial de muros al NW.

En la tabla 5 se presentan los valores máximos y mínimos de temperatura y de amplitud térmica al interior de las viviendas en repuesta a los valores de temperatura del aire exterior del día representativo del episodio monitoreado.

La técnica de análisis de los resultados consiste en la identificación de la relación causa efecto térmico a través de un análisis comparado, apreciándose diferentes sensibilidades de respuesta ante las variaciones del clima exterior Agrupando resultados en tercios mayor, medio y menor se obtienen pautas para identificar diferencias en el comportamiento térmico de las diferentes unidades.

1. ¿Cuál es la respuesta de la amplitud de la oscilación externa en cada una de las viviendas?
2. Ante un pico de temperatura exterior máxima ¿cual es la temperatura máxima al interior?
3. Ante un pico de temperatura exterior mínima ¿cual es la temperatura mínima al interior?

Tabla 5. Valores máximos y mínimos de temperatura y de amplitud térmica al interior de las viviendas (temperaturas de aire y superficiales de techos y muros).

| | | C | D | A | F | G | L |
|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temp. AIRE | AMPLITUD | 2,77 | 6,37 | 6,81 | 8,4 | 3,07 | 4,78 |
| | MAX | 17,56 | 19,65 | 18,43 | 20,52 | 17,22 | 17,91 |
| | MIN | 14,79 | 13,28 | 11,62 | 12,12 | 14,15 | 13,13 |
| Temp. Sup. T ECHO | AMPLITUD | 1,91 | 7,38 | 10,54 | 12,61 | 3,8 | 8,68 |
| | MAX | 17,26 | 20,14 | 21,02 | 24,35 | 18,04 | 18,37 |
| | MIN | 15,35 | 12,76 | 10,48 | 11,74 | 14,24 | 9,69 |
| Temp. Sup. MURO NESTE | AMPLITUD | 4,32 | 3,72 | | 8,01 | 3,5 | |
| | MAX | 17,78 | 21,58 | | 19,09 | 16,54 | |
| | MIN | 13,46 | 17,86 | | 11,08 | 13,04 | |
| Temp. Sup. MURO NOESTE | AMPLITUD | | | 7,88 | | | 4,32 |
| | MAX | | | 18,35 | | | 17,28 |
| | MIN | | | 10,47 | | | 12,1 |

Tabla 6. Sensibilidad de las respuestas ante la variación de temperatura exterior del día 03/09, día típico y representativo del episodio.

| | | | Mayor | Media | Menor |
|---|---|---------------|-------|-------|-------|
| 1 | Amplitud térmica exterior: 13.8°C * | Temp. aire | A-F | D-L | C-G |
| | | Temp. muro NE | F | | C-D-G |
| | | Temp. techo | A-F | D-L | C-G |
| 2 | Pico de temp. máxima exterior: 21.1°C** | Temp. aire | D-F | A | C-G-L |
| | | Temp. muro NE | D | F | G-C |
| | | Temp. techo | F | A-D | G-C-L |
| 3 | Pico de temp. mínima: 7.29°C*** | Temp. aire | A-F | D-L | G-C |
| | | Temp. muro NE | F-G | C | D |
| | | Temp. techo | A-L | D-F | C-G |

*Sensibilidad de las respuestas ante valor medio de variación de la temperatura exterior.

** Sensibilidad de la respuesta ante el pico máximo de temperatura exterior: temp. máxima: 21.1 °C registrado el día 3/9 a las 14:30hs.

***Sensibilidad de la respuesta ante el pico mínimo de temperatura exterior: temp. mínima: 7.29 °C registrado el día 3/9 a las 7:30hs.

De la Tabla 6 se desprende que las unidades de mayor sensibilidad ante las variaciones de temperatura exterior son: A y F. Las de menor sensibilidad son G y C, mientras que las unidades D y L presentan una sensibilidad media. Comparando esos resultados con la caracterización térmica de los cerramientos de las viviendas (tabla 4) se hacen las siguientes consideraciones:

A. Ninguna de las viviendas presenta temperaturas por debajo de la temperatura mínima del aire exterior.

B. La temperatura superficial del cerramiento superior de la unidad F se encuentra por encima de la temperatura del aire exterior (+ 3.25°C).

1. Las unidades de mayor sensibilidad ante las variaciones de temperatura exterior presentan altas transmitancias térmicas en techos y muros (muro unidad A: 2.44 W/m²K; techo unidad A: 2.46 W/m²K; muro unidad F: 2.94W/m²K; techo unidad F: 4.78W/m²K) y valores medios de peso ponderado (muros y techos) por metro cuadrado (unidad A: 112 kg/m²; unidad F: 152 kg/m²)
2. Las unidades de menos sensibilidad, si bien presentan valores de transmitancia elevados en muros (unidad C: 2.56 W/m²K; unidad G: 2.42 W/m²K), poseen bajas transmitancias en techos (unidad C: 1.22 W/m²K; unidad G: 0.88 W/m²K) además de poseer ambas unidades valores altos de peso ponderado (muros y techos) por metro cuadrado: unidad C. 192 kg/m²; unidad G: 276 kg/m².

3. La unidad D, si bien posee valores bajos de transmitancia en techos y muros ($0.71 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$ respectivamente) y valores medios de peso ponderado en techos y muros (171 kg/m^3), posee un alto porcentaje de cerramientos vidriados al cuadrante norte (sin protección), lo cual la hace sensible ante el pico de temperatura exterior.

5. CONCLUSIÓN

Este trabajo transfiere la actividad realizada en la ciudad de Montevideo- Uruguay entre los días 30/8 y 5/9 del 2004. El principal objetivo de este trabajo es presentar los resultados del monitoreo realizado y una evaluación primaria del desempeño térmico de 6 viviendas del Conjunto Demostrativo de Tecnologías V Centenario realizadas con diferentes sistemas constructivos en función de su adecuación a las condiciones climáticas locales. Es de destacar que esta experiencia de monitoreamiento simultáneo de 6 viviendas con este tipo de equipamiento (datalogger) es la primera realizada en el Uruguay.

Este trabajo intenta correlacionar las características térmicas de los cerramientos que componen las diferentes unidades monitoreadas con la sensibilidad de las respuestas de las mismas ante un día elegido como representativo del período monitoreado. Se brinda evidencia de la relevancia que posee para el clima de Montevideo la aislación y la masa térmicas, así como la orientación de los cerramientos vidriados.

Según los resultados obtenidos, las unidades con cerramientos superiores que poseen alta aislación y masa térmica ofrecen menores oscilaciones de temperaturas superficiales y de aire interior. Por el contrario, las unidades que presentan respuestas con oscilaciones de temperaturas considerables, presentan cerramientos con baja aislación y baja masa térmica. Se destaca además la importancia de la orientación y protección de los cerramientos vidriados.

Lamentablemente, razones técnicas del equipamiento utilizado, inviabilizó tener registros confiables de radiación solar y de humedad relativa al interior de las viviendas. Esto último imposibilitó el estudio de ocurrencia de humedad por condensación de vapor de agua al interior de las viviendas, una manifestación patológica frecuente en el clima local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALONSO, N.; CALONE, M.; BOZZO, L. *Evaluación del Conjunto Demostrativo de tecnologías V Centenario*. Publicación del seguimiento de obra del I.C.E. (Instituto de la Construcción de Edificios), Facultad de Arquitectura, Universidad de la Republica, Uruguay, 1996.

CYTED, Proyecto XIV.2. *Anal del II Curso Iberoamericano de Técnicas Constructivas Industrializadas para vivienda de Interés Social*, Tomos 1 y 3. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo, Coordinador Walter Kruk, Noviembre 1993.

DNM, *Normales Climatológicas período 1961-1990*. Dirección de Climatología y Documentación, Dirección Nacional de Meteorología, 1995

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los habitantes de las viviendas del CDTVC, sin cuyo desinteresado apoyo hubiera sido imposible la realización de este trabajo.