

COMPORTAMIENTO TÉRMICO EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL: MEDICIONES POS - OCUPACIÓN Y SIMULACIONES COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO

Ana M. Compagnoni¹, Silvia de Schiller,² John M. Evans³

Centro de Investigación, Hábitat y Energía,
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires
CIHE-FADU-UBA, Pabellón 3, piso 4, Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires.
Tel. 0114-4789-6274 – e-mail: anacompa@terra.com.ar- evans@fadu.uba.ar

RESUMEN:

Este artículo tiene por finalidad presentar conclusiones que se derivan del trabajo de investigación “Eficiencia energética e impacto ambiental de tecnologías aplicadas al diseño de vivienda social” correspondientes a la etapa de verificación de comportamiento térmico de las viviendas. Se seleccionaron como casos de estudio, unidades de vivienda social agrupadas, en tipología dúplex y construidas con diferentes soluciones tecnológicas. Considerando que las condiciones de confort interior generadas por cualquier sistema tecnológico y su nivel de eficiencia energética están condicionadas por su interacción con los aspectos morfológico – ambientales, el objetivo principal de esta etapa de trabajo es verificar el nivel de confort térmico de cada respuesta constructiva en relación a las variables morfológicas de unidad y conjunto que entran en juego. En este sentido se decidió evaluar la interacción entre las variables tecnología, orientación y tipología para identificar la incidencia de cada una en el resultado final. Se implementaron como parte de la metodología de evaluación pos-ocupación las mediciones in situ de las condiciones térmicas interiores para luego comparar con los resultados obtenidos de las correspondientes simulaciones numéricas y sacar conclusiones adicionales respecto de la eficiencia y utilidad de las herramientas de evaluación.

ABSTRACT:

The object of this paper is to present some conclusions obtained during the research “Energy efficiency and environmental impact of technologies applied in social housing design” related to evaluation of thermal performance stage. The selection of case studies was based in low cost housing units grouped in row housing, and constructed with different technological solutions. Considering the energy efficiency of a technological system is conditioned by its interaction with morphological and environmental aspects, the principal objective of this stage is to verify thermal performance of each construction response related to the morphological variable of the dwelling unit and housing group. In this way, the interaction between the technological variables, orientation and building typology are studied to detect the incidence of each in the final result. As part of post-occupational evaluation *in situ* measurements was incorporated to compare with simulation results and obtain additional conclusions with respect to efficiency and utility of evaluation tools.

¹ Investigadora JTP por concurso de la SICyT. Proyecto TRP 6 2001-2003 con sede en el CIHE-FADU-UBA.

² Directora del Proyecto UBACyT A0 22

³ Director del CIHE.

INTRODUCCION

Se propone un estudio integral en cuanto a la consideración de condicionantes relacionados con el entorno y particularizado en cuanto a la verificación de ciertas tecnologías constructivas en diferentes situaciones morfológicas dentro del conjunto. Esto permitirá evaluar y obtener conclusiones respecto del comportamiento de las diferentes propuestas tecnológicas en relación a las condiciones deseables de confort para un mismo clima y a su vez verificar la incidencia de variables de diseño en el comportamiento de una misma tecnología.

La propuesta de incluir mediciones in situ para hacer evaluación de sistemas constructivos se fundamenta en la hipótesis de que aquellas tecnologías aprobadas para la construcción de vivienda social como sistema aislado no verifican en la etapa post-ocupación debido a su falta de adecuación a los condicionantes del entorno. Evidencian estos argumentos las múltiples patologías que, a lo largo del proceso de operación de los edificios, afectan progresivamente tanto las condiciones de confort interno de estas viviendas como su estabilidad estructural, conduciéndolas al colapso.

METODOLOGIA

Relevamiento

En la selección de casos de estudio se tuvo en cuenta el material técnico disponible sobre conjuntos de vivienda de interés social de densidad media ubicados dentro del área urbana de la Ciudad de Buenos Aires. Con el objetivo de evaluar comportamiento de viviendas ya no como unidades prototípicas aisladas sino en relación a una envolvente, determinada por un tipo de agrupamiento específico. Se optó por el Conjunto Illia como caso de viviendas de tipología dúplex sobre lote propio y adosadas en tiras que conforman las manzanas de un conjunto semi-integrado a la trama urbana a través de calles vehiculares y peatonales.

El relevamiento de la documentación técnica, permitió además identificar dentro del conjunto Illia la presencia de sistema tradicional racionalizado y sistema prefabricado pesado por lo que dentro de cada tipo constructivo las variables de orientación y posición relativa dentro de cada tira, constituyó de por sí un universo lo suficientemente amplio y variado para realizar los trabajos de campo.

Teniendo en cuenta el rango de variantes y la disponibilidad de instrumental para las mediciones de campo, se decidió tomar como unidad de análisis y comparación de comportamiento ambiental, la unidad dormitorio como célula básica de la vivienda. Esta unidad si bien no refleja el comportamiento global de la vivienda sirve como evaluación inicial y evidencia las situaciones más críticas ya que, en el caso de la tipología dúplex, estas unidades están más expuestas a condicionantes ambientales que el resto de la vivienda.

Considerando además que en la evaluación post-ocupación influyen la cantidad de usuarios y las horas de uso, estos condicionantes resultan más fácilmente controlables en dormitorios donde la variación oscila entre 2 y 3 usuarios y las horas de uso entre un promedio de 8hs. en invierno y 11 hs en verano. Otro aspecto que resulta más acotable es la superficie útil del local y las relaciones que se derivan de éste: superficie de iluminación, ventilación etc.

Análisis de aspectos morfológicos:

Del análisis de las particularidades propias del tipo de conformación edilicia adoptado por los proyectistas, se derivan diferentes relaciones de la unidad respecto de la envolvente y su entorno inmediato y cuya eficiencia térmica es objeto de verificación .

Se advirtieron leves diferencias dimensionales en las unidades de vivienda de uno y otro tipo constructivo.(Fig.1) y se identificaron 3 variantes en el caso de las viviendas de construcción prefabricada pesada: Centro de tira, Puente, y Extremo de tira y en el caso de construcción tradicional racionalizada sólo dos variantes: Centro y Extremo de tira.

Dentro del Sistema Prefabricado, la tipología Centro constituye la vivienda tipo del conjunto por su proporción en relación al total. Esta vivienda cuenta con una PA con dos dormitorios orientados a frente y contrafrente, presentando así dos orientaciones principales debido a que las tiras de las manzanas 1 a 4 están ubicadas NE/SO ó NO/SE. La variante Puente de la tipología presenta un tercer dormitorio que representa la variante más expuesta desde el punto de vista energético (exposición de piso y 3 cerramientos verticales) y como tal es de especial interés para la realización de mediciones de campo. Otra tipología que presenta características particulares de exposición al viento y al sol lo constituye el Extremo de tira que cuenta con un nivel de exposición intermedia ya que tiene dos fachadas expuestas al exterior.

En el caso del sistema constructivo tradicional, característico de la manzana 5, se presenta la tipología de 3 dormitorios que varía sólo por su ubicación dentro de la tira es decir Centro o Extremo permitiendo la mayor dimensión de los lotes ubicar en la PA, un Hall y un dormitorio al frente y 2 dormitorios a contrafrente.

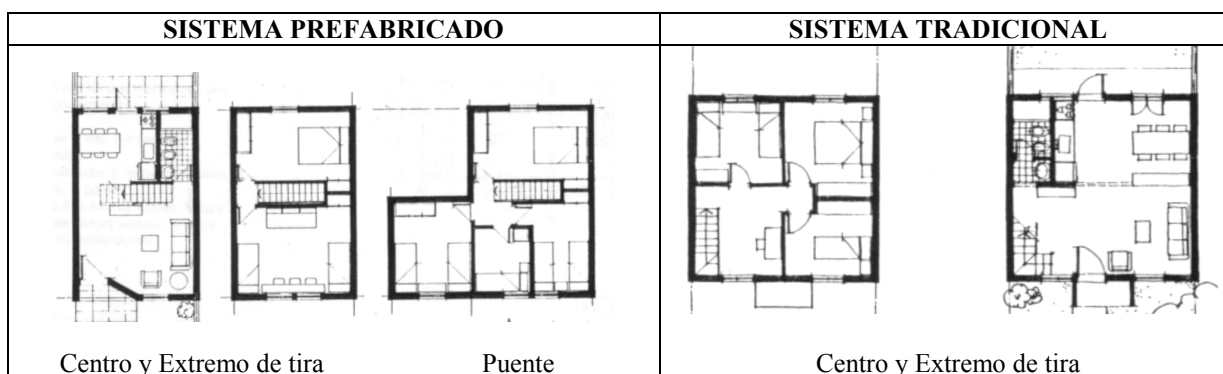


Figura 1: Variantes tipológicas en ambos sistemas constructivos- Fuente: R. Dunowics. 2000

Análisis de aspectos tecnológicos

En el relevamiento de datos de orden tecnológico, se identificaron los componentes de cada sistema constructivo, materiales y espesores utilizados. Se confirma así el uso de diferente tipo de material tanto en cerramientos verticales como en cubierta, y la exclusión del cielorraso como cerramiento horizontal en el caso del sistema tradicional. En este último se evidencia el uso del mismo tipo de cerramiento para fachadas como para medianeras y muros terminales sin ningún tipo de aislación vertical aparente. En el sistema prefabricado no pudo verificarse el uso de paneles diferenciados para fachadas y muros terminales como consta en los Certificados de Aptitud Técnica .

Tanto en el sistema constructivo tradicional racionalizado como en el prefabricado pesado los datos obtenidos de la documentación técnica no verifican en la observación de la realidad. Por tal motivo, para las simulaciones computarizadas se tuvo en cuenta el relevamiento realizado in situ por el equipo del Arq. Telehea⁴, que facilitó toda la información requerida sobre aspectos constructivos no comprobables a simple vista.

Mediciones

Luego de identificar las exigencias de contexto y como consecuencia del análisis morfológico y tecnológico se planificó la instalación de sensores teniendo en cuenta la necesidad de contemplar en forma alternada la incidencia de las variables: tecnología, tipología y orientación de manera tal de poder detectar cuál de ellas es la que provoca mayor variación en las condiciones de confort térmico. Los resultados surgen de las diferentes combinaciones entre variables. Así, la planificación responde a:

- La variación de tipologías dentro de cada sistema
- La variación de orientaciones dominantes
- La variación entre sistemas constructivos

⁴ Coordinador del Programa de Mantenimiento Asistido y Participativo de de la Comisión Municipal de la Vivivenda

De todo lo expuesto resultan diecisiete unidades dormitorio a analizar. Para sintetizar la exposición de los resultados en este trabajo se toma como ejemplo una tira de viviendas con orientación NO/SE para cada sistema constructivo con unidades dormitorio de tipología Centro comparables por la orientación de sus fachadas (al NO y al SE) y por su tecnología. A su vez se tomarán otras unidades que representan extremos de tira en los ángulos N, S, E, O, y una tipología puente al NE, lo cual incluye la posición relativa dentro de la tira como última variable a evaluar.

Esta selección responde al criterio de considerar la orientación NO como situación desfavorable representativa de verano y la SE con iguales connotaciones para invierno permitiendo dar así un panorama completo del tipo de comparaciones que se realizaron.

Para las mediciones in situ se eligieron condiciones ambientales típicas de período estival e invernal por lo que la instalación de sensores se efectuó desde el 16 de enero hasta el 13 de febrero para verano y desde el 26 de junio al 18 de julio para invierno. Los criterios de selección de unidades a medir en cada semana respondieron a la disponibilidad de sensores en cada oportunidad y variaron entre verano e invierno (4 y 3 semanas respectivamente).

Se utilizaron sensores HOBO y sensores Tiny Talk para medición de temperatura interior, contando además con las mediciones de referencia procedentes de la Estación de Mediciones del CIHE ubicada en la terraza de la FADU. La instalación se hizo sobre los dos metros de altura correspondientes a la parte superior de los placares de las habitaciones y alejada de los muros para medir aire interior, evitando así la manipulación o alteración del funcionamiento de los sensores por los usuarios.

Como primer paso se elaboraron dos planillas de bases de datos: una con los datos objetivos y otra, producto de una encuesta subjetiva al usuario. En la primera se registraron los puntos de localización de los sensores, sistema constructivo del local, tipología, orientación, hora de colocación y retiro, período de medición y observaciones. En la segunda se volcaron horas promedio de uso, cantidad de usuarios, horas de acondicionamiento, y ventilación natural o artificial incluyendo una calificación en grado subjetivo de confort. También se incluyeron observaciones de patologías en el interior.

Una vez retirados los sensores se procesaron los datos de las mediciones a fin de ajustarlos a los registros horarios de referencia para poder establecer relaciones. Luego, respondiendo a planillas previamente diseñadas, se agruparon las combinaciones de sensores a comparar en cada semana siguiendo el criterio de instalación planteado que según la semana respondía a comparar:

- Una tipología con diferente sistema constructivo y diferente orientación
- Las diferentes tipologías con una orientación dominante y dentro de un mismo sistema.
- Entre sistemas diferentes las diferentes tipologías.

Simulaciones

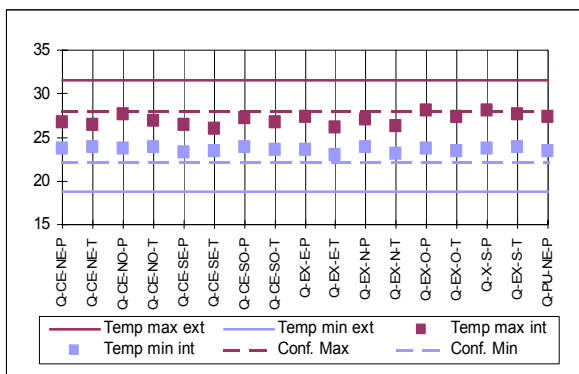
Luego de procesar los datos de las mediciones in situ y con el objetivo de comparar resultados teóricos y reales, se realizaron simulaciones de comportamiento de cada unidad de análisis con el Programa QUICK (VAN HEERDEN, 1997) teniendo en cuenta tanto el relevamiento de los datos técnicos como la encuesta realizada al usuario. Cabe aclarar que, si bien los datos referidos a aspectos tecnológicos pretendieron ser lo más fieles a la realidad posible, los correspondientes a las condiciones de uso (cantidad de usuarios, horas de uso, cargas internas, ventilación etc.) se tomaron constantes para todas las unidades ya que los dormitorios representan unidades de análisis con poco margen de variación en estos aspectos.

Este criterio para ingresar los datos al sistema responde a uno de los objetivos principales del trabajo que pretende demostrar la factibilidad del uso de las simulaciones como herramienta del diseñador para predecir la incidencia de las variables de diseño en las condiciones de confort interior de las viviendas. Por tal motivo los datos sobre clima se presuponen dados por default y responden a las condiciones típicas de invierno y verano según los registros del servicio meteorológico local y las únicas variaciones consideradas son aquellas que definen: orientación, morfología y tecnología utilizadas.

RESULTADOS

Tomando los resultados de la simulación como comportamiento aparente de estas unidades y comparando los gráficos de invierno y verano (Fig.5), se pone en evidencia que durante el período estival, las temperaturas interiores se encuentran dentro de la zona de confort en forma constante y en período invernal hay mayor oscilación entre las diferentes tipologías aunque todas las unidades analizadas se encuentran por debajo de las temperaturas mínimas de confort. Sólo alcanzan mejores condiciones térmicas las tipologías Centro con orientación NE y NO en ambos sistemas constructivos, así como la tipología Puente al NE y el Extremo de tira al N, ambas del sistema prefabricado. En términos generales se verifican valores de temperatura superiores en el Sistema Prefabricado respecto del Tradicional. En cuanto a la relación entre amplitud térmica exterior e interior en verano la máxima y la mínima exteriores se ubican equidistantes del rango de confort y las mayores amplitudes en el interior las presentan las tipologías Extremo de tira y Puente, mientras que en invierno la amplitud térmica interior es mínima respecto de la amplitud exterior.

Verano



Invierno

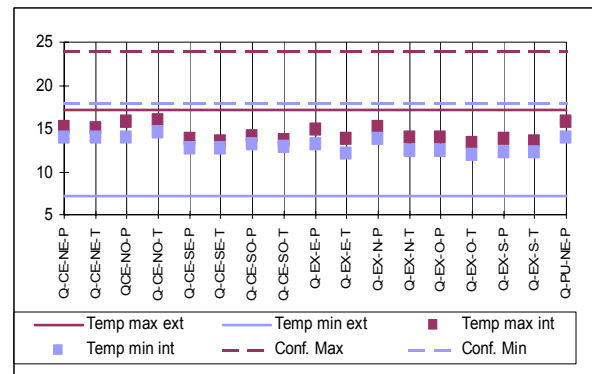
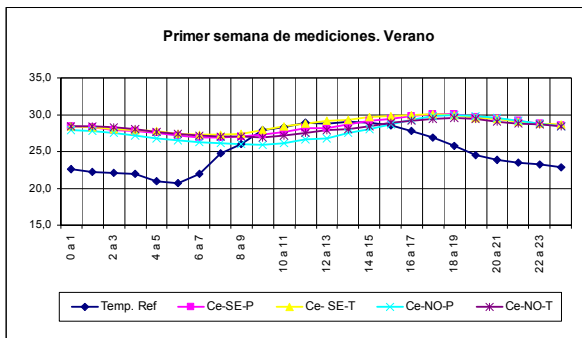


Figura 5 : Amplitud térmica exterior e interior en relación a los límites de confort térmico.

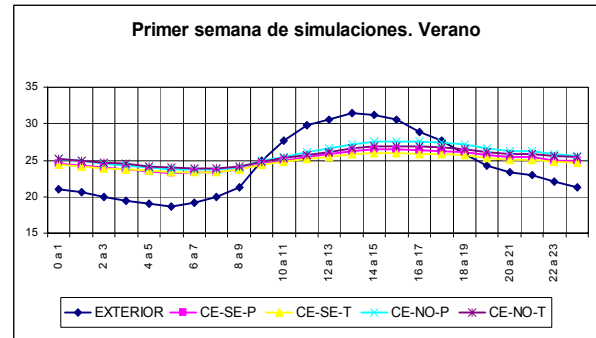
Teniendo en cuenta que los sensores fueron colocados en diferentes tipologías, orientación y sistemas constructivos durante el mes de mediciones, y con el objetivo de poder establecer comparaciones más evidentes entre lo simulado y lo medido, se consideraron las unidades medidas en cada semana y se obtuvieron gráficos de Temperatura para un Día Típico de cada semana de verano e invierno como promedio semanal y se establecieron comparaciones. Luego, se seleccionó a modo de ejemplo la primer semana de verano y la última de invierno como las más asimilables, a sus correspondientes en las simulaciones (Fig 6). De la comparación entre ambos gráficos surgen algunas diferencias que en mayor o menor medida se mantienen constantes:

- En general se observan considerables variaciones en las curvas de temperatura exterior entre las semanas correspondientes al mismo período tanto para verano como para invierno.
- Tanto en invierno como en verano, las temperaturas máximas presentan un retraso térmico mayor en las mediciones que las que dan las simulaciones.
- La amplitud térmica interior durante el verano, presenta gran similitud entre simulación y mediciones.
- En verano las simulaciones interiores muestran temperaturas máximas inferiores a las exteriores y por lo tanto más confortables que las resultantes de las mediciones.
- Aunque en invierno las amplitudes térmicas medidas y simuladas en interiores son mínimas, las temperaturas máximas resultantes de las mediciones de invierno, en general superan las máximas exteriores lo cual resulta más confortable que lo que se observa en las simulaciones.
- Las mediciones de invierno muestran un comportamiento interior con mayor diferenciación entre unidades que las simulaciones de invierno.

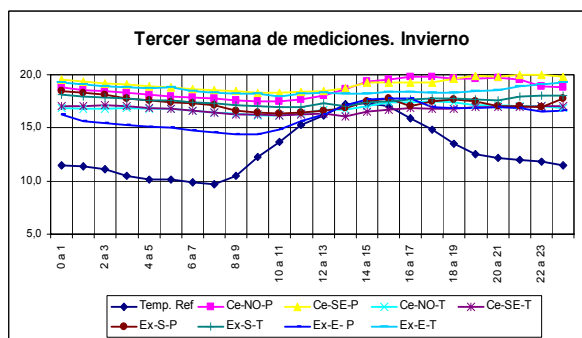
Mediciones de verano



Simulación de verano



Mediciones de invierno



Simulación de invierno

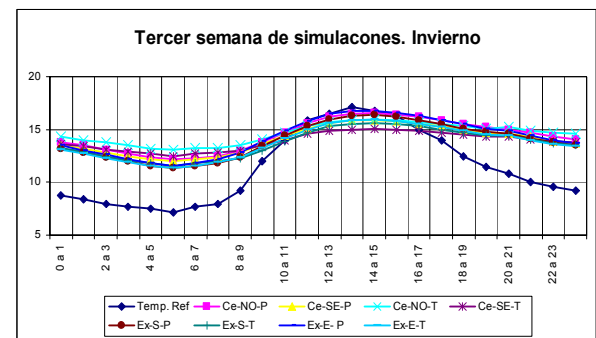


Figura 6 :Gráficos de Día Típico como promedio semanal

De la comparación entre simulación y medición in situ (Figs 7 y 8) se puede observar que, en términos generales, las simulaciones no siempre muestran la misma tendencia que se verifica en las mediciones aunque confirman la tendencia de una mayor amplitud térmica en el sistema prefabricado pesado. Por tal motivo las conclusiones específicamente cuantitativas que surgen de estos gráficos, se desprenden de la comparación de mediciones entre sí.

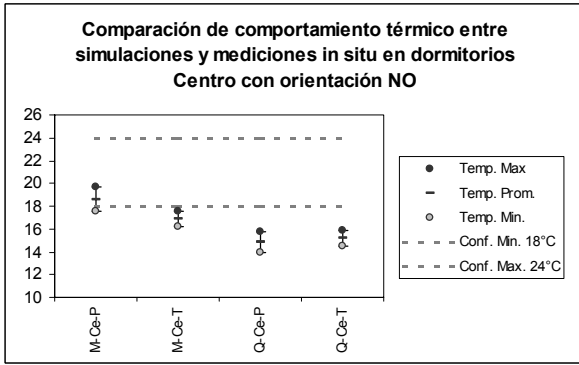
Así al establecer comparaciones entre los resultados correspondientes mediciones de tipologías Centro con diferentes orientaciones (Fig. 7) se observa que:

- Se verifica un mejor comportamiento térmico invernal en unidades de tipología Centro del sistema prefabricado pesado para ambas orientaciones NO y SE, con temperaturas confortables para ese período.
- En período estival el comportamiento térmico de las tipologías Centro no presenta diferencias considerables entre las orientaciones analizadas, solo se evidencia mayor amplitud térmica en el sistema prefabricado, con temperaturas promedio que exceden el límite máximo de confort para ambos sistemas.

También se establecieron comparaciones entre unidades correspondientes a diferentes tipologías de vivienda para cada sistema constructivo y con la orientación más desfavorable para ese período (Fig.8). De los resultados obtenidos de las mediciones surgen las siguientes consideraciones:

- En período invernal y orientación SE el mejor comportamiento en Sistema Prefabricado se observa en la unidad Centro mientras que en Sistema Tradicional se verifica en la unidad Extremo Este.
- En período estival con orientación NO no se presentan grandes diferencias entre las diferentes unidades del Sistema Prefabricado, mientras que en el Sistema Tradicional se ven claramente beneficiados los Extremos N y O cuyas temperaturas nunca exceden la máxima de confort.

Invierno



Verano

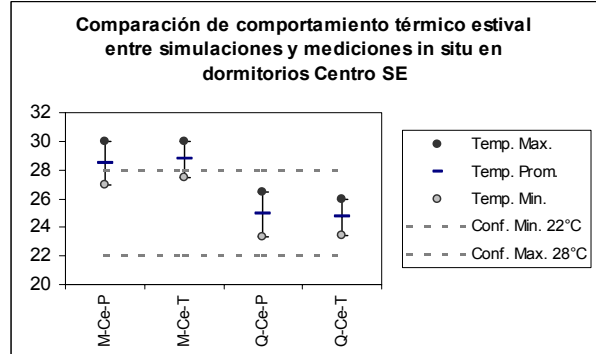
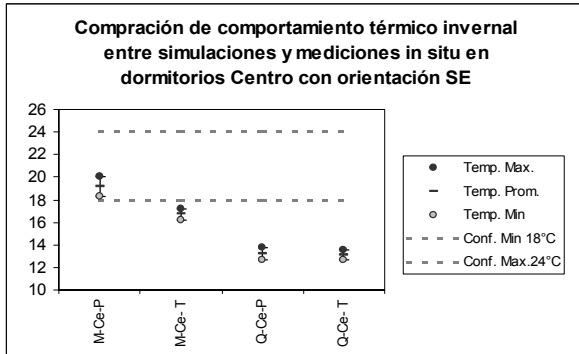
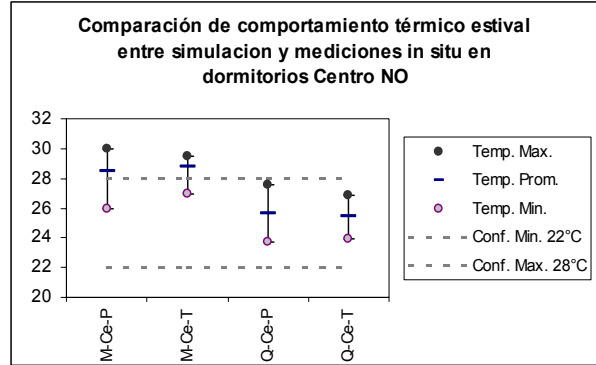
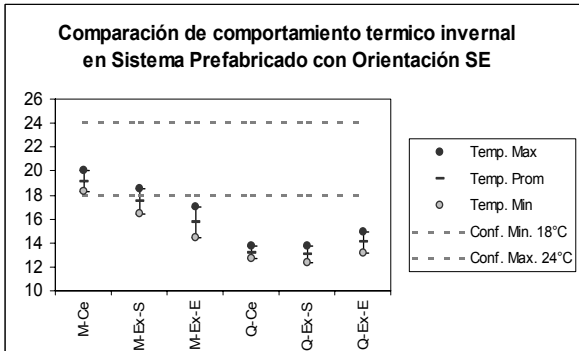


Figura 7 :Resultados de Mediciones in situ (M) y simulación Quick (Q) en dormitorios Centro

Invierno



Verano

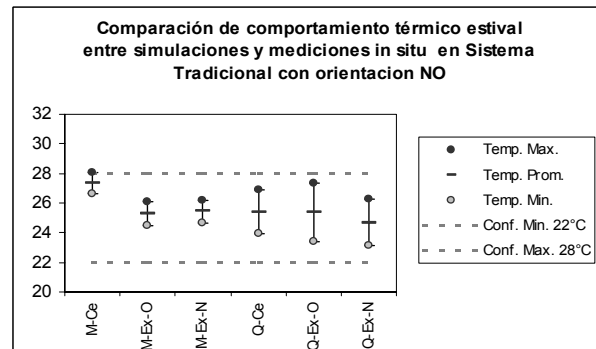
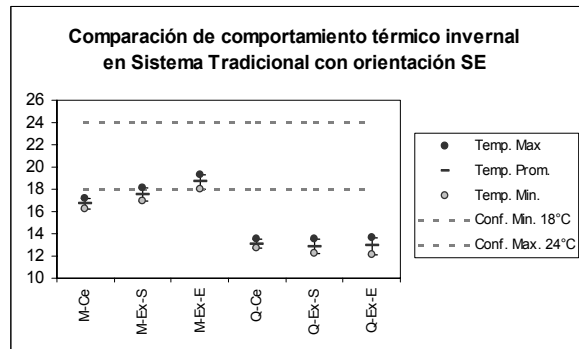
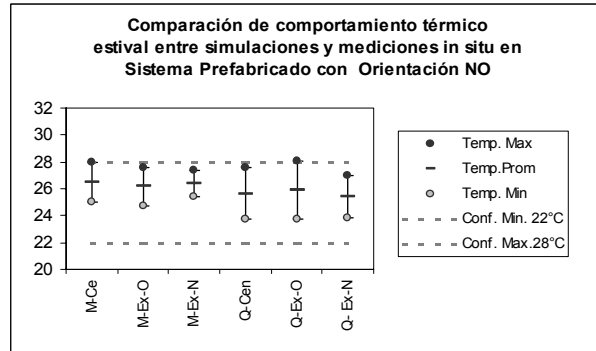


Figura 8 : Resultado de Mediciones in situ (M) y Simulaciones Quick (Q) en diferentes tipologías.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos y el proceso de instrumentación y puesta en marcha de la campaña de mediciones, permiten considerar tres campos diferenciados y posibilita la evaluación de la campaña de medición, las simulaciones realizadas y el proceso metodológico empleado.

Mediciones:

Esta herramienta de evaluación de la realidad, con datos mensurables, permitió relacionar las respuestas de cada unidad de análisis en términos de valores absolutos. Se destaca también la importancia de la misma en función de su potencialidad para identificar aspectos deficientes del hábitat construido que permite ofrecer mejoras en aspectos tecnológicos y recomendaciones de uso para optimizar las condiciones de confort existentes.

Simulaciones:

Este tipo de simulaciones es muy útil como herramienta predictiva en el proceso de diseño de vivienda social. Si bien resulta difícil anticipar el comportamiento del usuario y en consecuencia ajustar las variables de uso, es factible establecer, con el apoyo auxiliar de encuestas, las condiciones más representativas que permiten simular un comportamiento aparente y así determinar sobre qué variable es necesario hacer modificaciones para optimizar el confort térmico de las viviendas.

Metodología:

Si bien el uso simultáneo de estas herramientas permitió distinguir las potencialidades de ambas en evaluación y mejoramiento del hábitat, cabe destacar que las mediciones corresponden con situaciones existentes, mientras que las simulaciones permiten evaluar alternativas no construidas. Las mediciones también requieren tiempo, para evaluar distintas estaciones, y recursos, con disponibilidad de sensores para cada situación.

Las simulaciones permiten obtener resultados comparables con las mediciones, utilizando datos climáticos generales de cada estación. Cabe destacar que aunque las simulaciones con datos climáticos reales, registrados durante el mismo periodo, permiten mayor precisión, las diferencias por comportamiento de los usuarios dificultan la comparación de las mediciones con simulaciones.

Conclusiones Finales:

La utilidad de las mediciones radica en su capacidad de validación de las simulaciones utilizadas y en su veracidad como reflejo del comportamiento real del hábitat construido. En cuanto a la evaluación de la incidencia de las variables de diseño en el comportamiento de sistemas constructivos, resulta más útil y práctica la simulación con condiciones de uso preestablecidas, de modo de evitar su incidencia en los resultados. Se destaca también su utilidad como herramienta de verificación durante el proceso de diseño, permitiendo realizar los ajustes tecnológicos y morfológicos necesarios para optimizar el comportamiento del sistema constructivo en relación al diseño.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece la asistencia técnica de los Arqts. J. Telechea y A. Gerscovich del Programa de Mantenimiento Asistido y Participativo de la Comisión Municipal de la Vivienda, Gobierno de la Ciudad de Bs. As.

Este trabajo se inscribe en el marco del Proyecto UBACyT A-022 2001-2002 "Arquitectura Sostenible. Evaluación del impacto de decisiones de diseño a escala arquitectónica y microurbana" dirigido por la Arq. Silvia de Schiller.

REFERENCIAS

- COMPAGNONI, ANA M. (2001), Análisis de eficiencia energética e impacto ambiental de tecnologías constructivas en vivienda de interés social, Actas de ASADES 2001- AERMA, Inenco, Salta.
- DE SCHILLER, SILVIA (2002). Sustentabilidad en vivienda social. Desarrollo de un método de evaluación. Costa Rica. Actas de NUTAU 2002. San Pablo, Brasil.
- VAN HEERDEN, E. (1997) Integrated simulation of building thermal performance, HVAC system and control, Centre for Experimental and Numerical Thermoflow, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of Pretoria, SouthAfrica.
- DUNOWICS, RENEÉ (2000) Noventa años de vivienda social en la ciudad de Buenos Aires. Ediciones Arte Gaglianone.