



MEDICIONES HIGROTÉRMICAS EFECTUADAS EN UNA VIVIENDA CONSTRUIDA CON BLOQUES DE HORMIGÓN CELULAR CURADO EN AUTOCLAVE.

Paula. A. Bilbao, Vicente Volantino, Tomás Bernacchia, Ariel O. Pereyra, Diego D. Cruz
Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica – INTI Construcciones -Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Av. General Paz 5445 CP B 1650WAB Provincia de Buenos Aires
Tel. 011 4724-6200 int. 6482 - Fax. 4753-5764 e-mail : bilbao@inti.gov.ar

RESUMEN: Se presentan las mediciones efectuadas en un prototipo de vivienda social emplazada en el INTI, asimismo se realiza una evaluación higrotérmica y energética utilizando el programa de simulación ENERGY PLUS. Esta presentación corresponde a la segunda etapa del trabajo original “Vivienda de Interés Social INTI” en el cual se evalúan diferentes sistemas constructivos mediante ensayos y cálculos teóricos con el objeto de construir un prototipo que cumpla con los niveles de confort y características constructivas que establecen las Normas IRAM. El año 2003 se expuso dicha etapa en ASADES Formosa bajo el nombre “Evaluación integral del comportamiento higrotérmico y energético de variantes para la construcción de viviendas en tiempos cortos”. Los registros recogidos de la vivienda construida manifiestan un buen comportamiento térmico del sistema. La amplitud de las curvas de humedad y temperatura interna son notablemente menores que la externa a lo largo del año.

Palabras clave: vivienda social, confort higrotérmico, ahorro energético, aislamiento térmico.

INTRODUCCION

Durante el año 2003 se realizó un trabajo que evaluaba cuatro sistemas constructivos para un prototipo de vivienda social desarrollado en el INTI con el objeto de verificar el cumplimiento de cada propuesta según las Normas IRAM y realizar un estudio económico y energético de los mismos. Dicha publicación puede ser consultada en la biblioteca de Construcciones del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, bajo el nombre “Vivienda INTI, materiales sistemas y tecnologías para la construcción de la vivienda social”. Posteriormente se realizó la construcción con uno de los sistemas evaluados: bloques de hormigón celular curado en autoclave. El emplazamiento tuvo lugar en la sede central del INTI (Parque Tecnológico Miguelete). Buscando lograr una buena orientación se colocaron las ventanas principales mirando hacia el norte, dejando prácticamente ciegos los muros que dan al Sur y al Oeste. La fundación se realizó con platea de hormigón armado de 15cm sobre la que se colocó una capa de aislación hidrófuga de 4cm, los muros se realizaron con bloques de hormigón celular curado en autoclave de 15x25x50, y el techo de tejas cerámicas sobre estructura de madera con 3” (7.5cm) de aislación térmica de lana de vidrio. En las Figuras 1 y 2 se muestran la planta del prototipo y el corte constructivo del mismo.

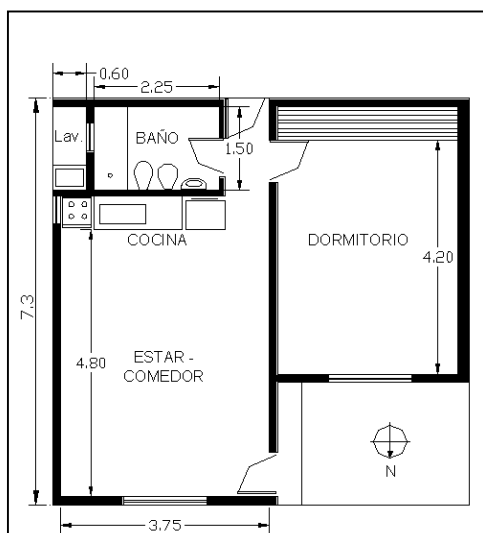


Figura 1: Planta de la vivienda

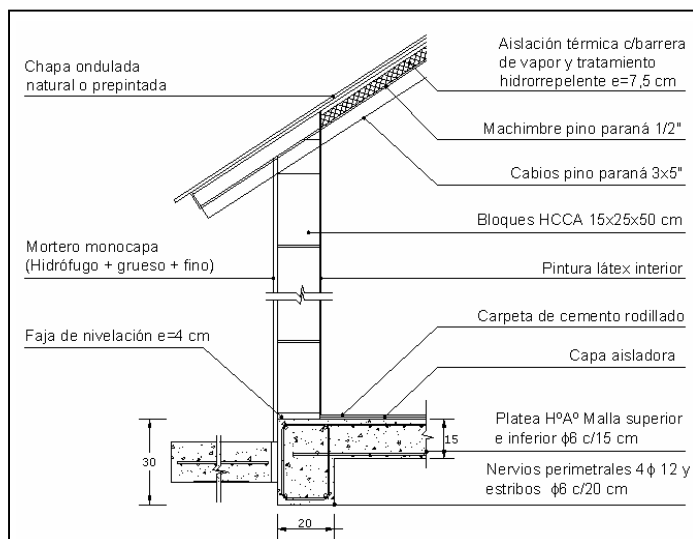


Figura 2: Corte constructivo de la vivienda

Terminada la obra comenzó el proceso de medición in situ, para lo cual se colocaron dispositivos de adquisición y almacenamiento de datos de temperatura y humedad marca ONSET HOBO y una estación meteorológica marca Davis modelo Monitor II en el exterior para obtener temperatura, humedad, presión, dirección y velocidad del viento; Se instaló un switch para detectar el tiempo de apertura de puertas y ventanas, y un fluxímetro con termocuplas a ambos lados de la pared para obtener la transmitancia térmica “in situ” y compararla con el valor teórico.

La evaluación energética se realizó con el programa de simulación Energy Plus para el cual se cargaron los datos de temperatura y humedad exterior de la biblioteca del International Weather for Energy Calculations (IWEC), y la información correspondiente a la carga térmica interna de la vivienda ya sea la ocupación en horas y días de permanencia cómo la generada por el equipamiento utilizado habitualmente.

DESARROLLO DEL TRABAJO

De la evaluación efectuada según los lineamientos de Normas IRAM, en la primera etapa de trabajo, se extraen los siguientes datos:

- Bloque hormigón celular curado en autoclave (HCCA) de 15x25x50:
 - Transmitancia Térmica de 0.69 W/m²k con terminación exterior de revoque monocapa y del lado interior únicamente pintura,
 - Nivel B de Confort Higrotérmico,
 - Ausencia de condensación superficial como también intersticial.
- Techo de teja cerámica con estructura de madera, aislación térmica de lana de vidrio de 3” de espesor (7.5cm), y film de polietileno como barrera de vapor.
 - Transmitancia térmica de 0.68 W/m²K,
 - Nivel B de Confort Higrotérmico,
 - Ausencia de condensación superficial como también intersticial.
- Coeficiente Volumétrico de Pérdidas de Calor (G) = 1.28 W/m³K,
- Gasto anual utilizando gas natural = \$ 64.-
- Gasto anual utilizando energía eléctrica = \$ 230.-

Durante el proceso de construcción del prototipo se decidió dejar el muro norte sin revocar para realizar ensayos de durabilidad del material a lo largo del tiempo. También se establecieron lugares donde se puede observar la secuencia en capas de revocos e instalaciones. En las figuras 3 y 4 pueden verse las fotos de la vivienda terminada.



Figura 3: Foto Fachada Principal Este - Norte.



Figura 4: Foto Fachada Sur - Este.

En este muro sin revoque se realizó la verificación “in situ” de la transmitancia térmica del muro para la cual se utilizaron termocuplas tipo “T” como sensores de temperatura, un medidor de flujo de energía (fluxímetro), un adquisidor de datos y una computadora. El método empleado fue el Método del Promedio en el cual se mide la temperatura superficial del muro en ambas caras, la temperatura ambiente interna y externa, y la densidad de flujo de energía que atraviesa el muro. Una vez recogidos los datos mencionados, se aplicó, de la norma ISO 9836, la siguiente ecuación para calcular la transmitancia:

$$K = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{i_j} - T_{e_j})} \quad (1)$$

K: factor de transmitancia térmica.

q: densidad de flujo de energía.

T_i: temperatura ambiente interior.

T_e: temperatura ambiente exterior.

Cabe aclarar que esta medición se realiza en horario nocturno, y que la temperatura exterior se mide protegiendo adecuadamente la termocupla para que no influyan en el sensor las corrientes de aire y posibles emisiones de radiación. En la figura 6 se muestran datos obtenidos durante uno de los días del periodo registrado.

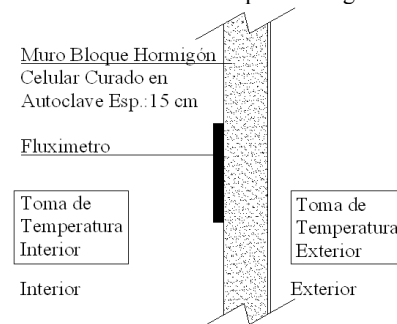


Figura 5: Esquema de ubicación de fluxímetro

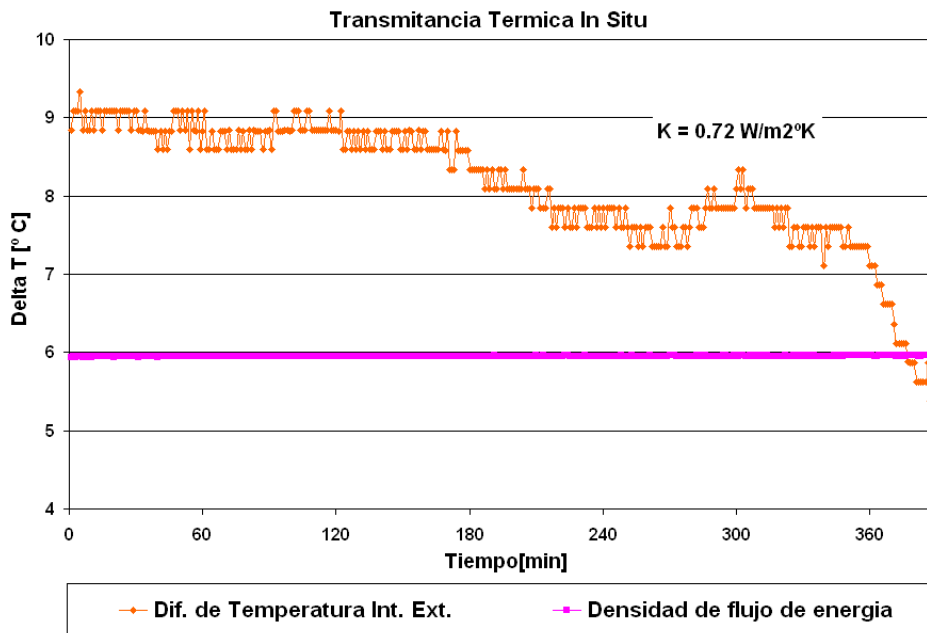


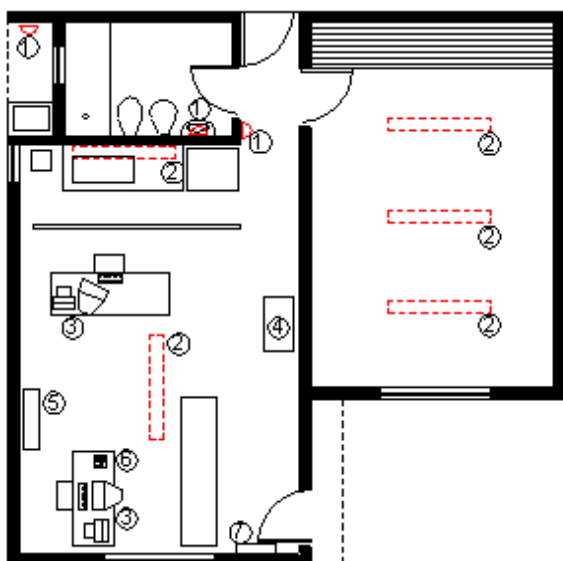
Figura 6: Gráfico de los datos obtenidos durante uno de los días del periodo de medición.

El valor de Transmisancia térmica al que se llega con la ecuación mencionada anteriormente es $K = 0.72 \text{ W/m}^2\text{k}$, ligeramente mayor que el hallado teóricamente donde $K = 0.69 \text{ W/m}^2\text{k}$, esta diferencia puede darse en parte, por colocar las termocuplas en el muro sin revocar.

Actualmente la vivienda se ha destinado a biblioteca, la oficina principal ocupa el espacio diseñado para comedor y el depósito de libros se encuentra ubicado en lo que sería el dormitorio. Por consiguiente el nivel de ocupación es bajo ya que sólo dos personas permanecen en el horario de 8:00 a 16:00, con alguna visita eventual durante esa franja horaria. Durante los fines de semana y feriados la oficina permanece sin ocupación con el equipamiento fuera de funcionamiento.

La carga térmica interna debida al equipamiento es más elevada si la comparamos con una vivienda, ya que se utilizan dos computadoras con impresora, teléfono fax, y una fotocopidora; las luces de la oficina permanecen encendidas durante las horas mencionadas. El equipo de aire acondicionado, instalado recientemente, es escasamente utilizado en el período estival, no ocurriendo lo mismo para el invernol en donde permanece encendida una estufa de tiro balanceado a la que se le adiciona ocasionalmente un calefactor eléctrico. Cabe aclarar que la calefacción y refrigeración no responden a una condición de confort preestablecida en cuanto a temperatura y humedad, sino a las distintas sensaciones de bienestar particulares de las personas que lo habitan.

En la figura 7 puede observarse un esquema de planta con el equipamiento y artefactos de iluminación y una tabla con las referencias y su carga total.



| |
|---|
| 1 - Lámpara incandescente – 100 W |
| 2 - Dos tubos fluorescentes – 40 W |
| 3 - Computadora: Monitor, CPU e Impresora – 1000 W |
| 4 - Fotocopidora – 500 W |
| 5 - Equipo de Aire Acondicionado – 3000 Kcal./h |
| 6 - Teléfono Fax – 15 W |
| 7 - Calefactor a gas, SURREY 3.000 kcal./h |
| 8 - Calefactor eléctrico, ATMA Modelo 1.200. – 1000 W |

Figura 7: Planta de la vivienda con esquema de equipamiento interno e iluminación.

Si consideramos las mediciones registradas en lo que va del año, puede observarse cómo en líneas generales, la curva de la temperatura interior posee una amplitud más corta que la exterior, reduciendo sensiblemente los picos máximos y mínimos de temperatura.

Los gráficos de las figuras 8, 9 y 10 representan todas las mediciones efectuadas desde el primero de enero hasta el 4 de agosto del 2008. La línea azul corresponde a la temperatura exterior, siendo la verde la de temperatura interna de la oficina y la rosa, la representativa de la temperatura de la sala de libros. Si comparamos ambos gráficos podemos apreciar la incidencia de la carga térmica interna durante todo el año, y el aumento de temperatura interior por calefacción durante el período invernal.

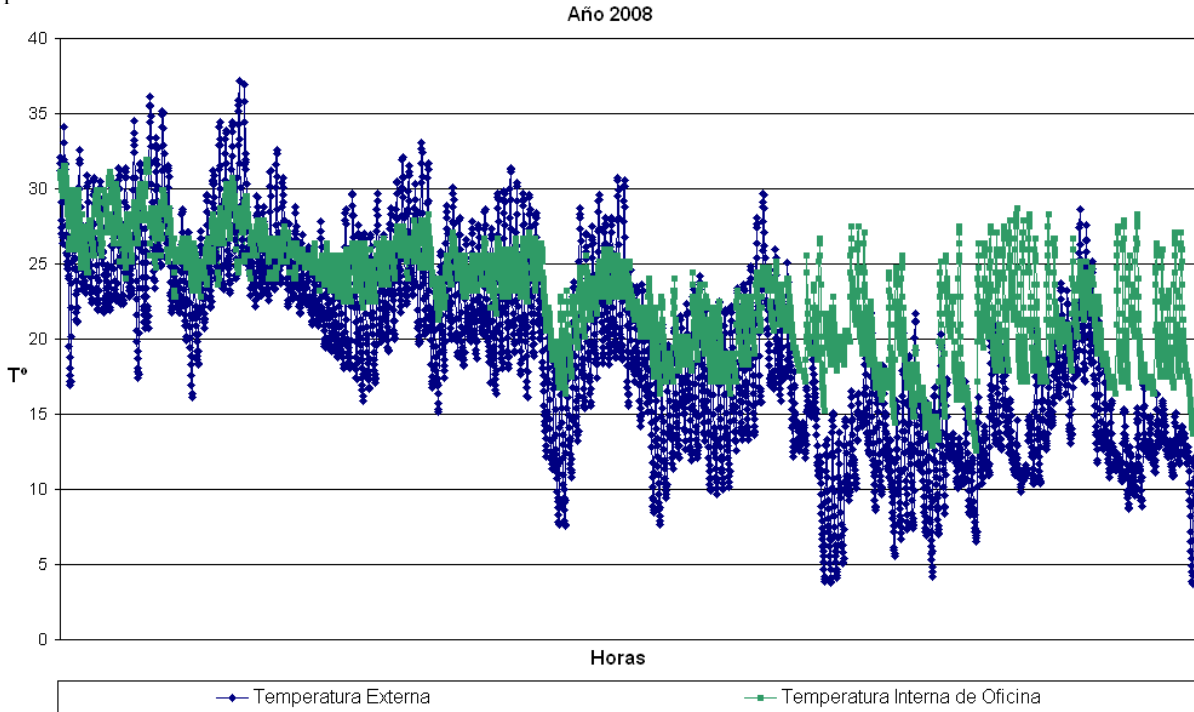


Figura 8: Gráfico de la temperatura exterior e interior de la oficina durante el período Enero – Agosto 2008

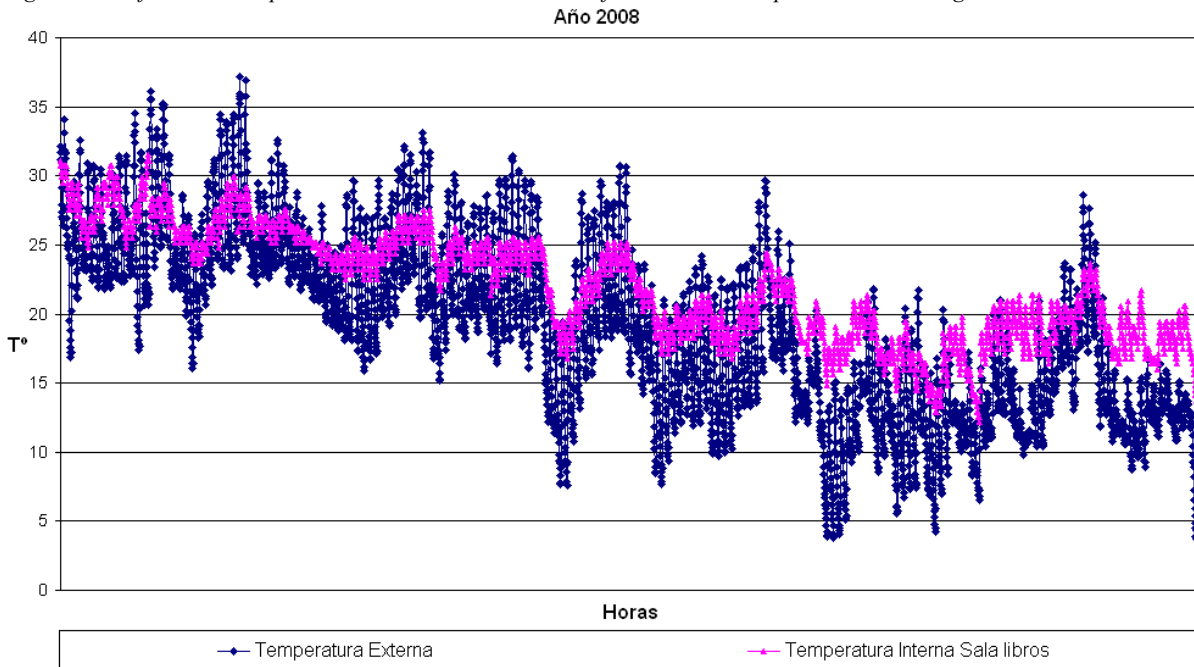


Figura 9: Gráfico de temperatura exterior e interior de la sala de libros durante el período Enero – Agosto 2008

En los gráficos de humedad relativa correspondientes al período antes mencionado puede observarse cómo los valores se mantienen bajos a lo largo del año a pesar de la alta humedad relativa exterior. Al utilizar la calefacción durante los meses de invierno, la humedad relativa de la oficina es más baja que la humedad relativa de la sala de libros.

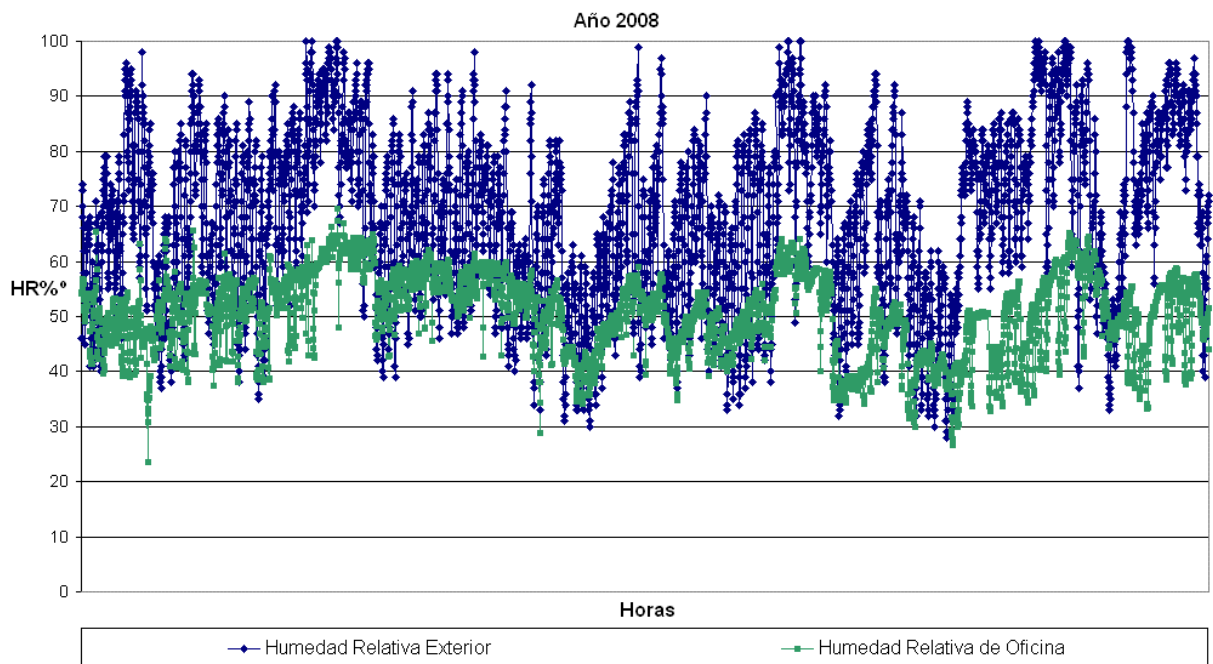


Figura 10: Gráfico de la humedad relativa exterior e interior de la oficina durante el período Enero – Agosto 2008

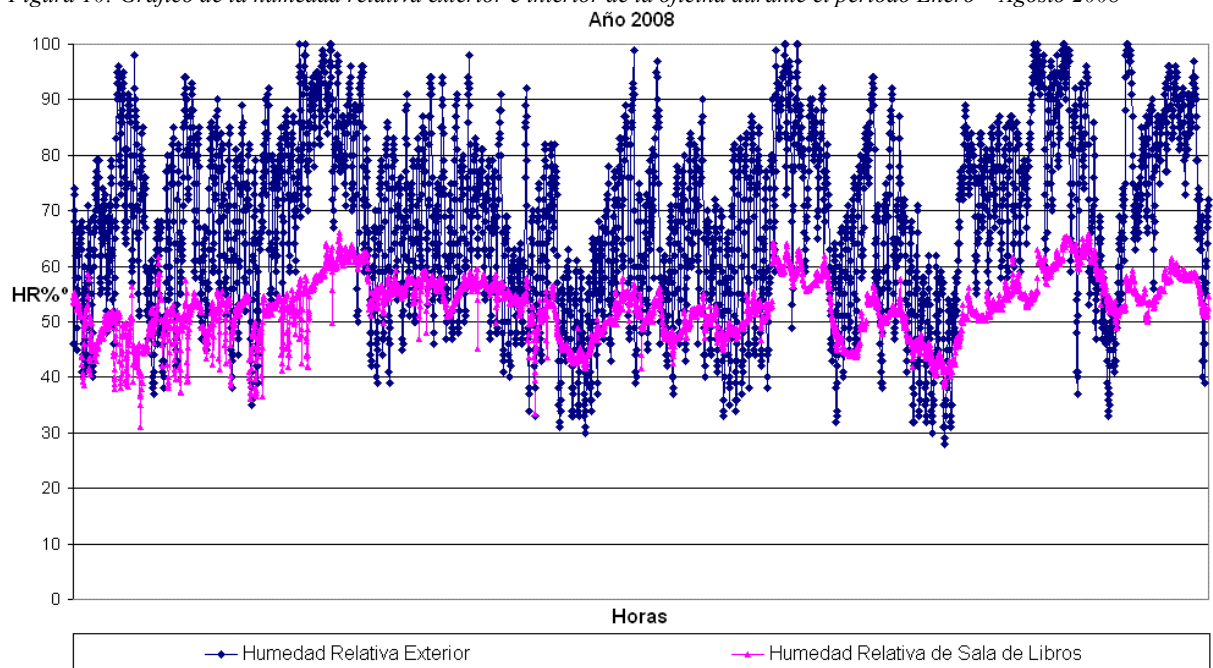


Figura 11: Gráfico de humedad relativa exterior e interior de la sala de libros durante el período Enero – Agosto 2008

Los efectos del cambio climático que se producen a nivel mundial pareciera manifestarse en las mediciones efectuadas mediante un marcado descenso en ciertos días de verano y un ascenso de las mismas durante el período invernal, por este motivo la mayoría de las semanas tomadas como ejemplo poseen amplitudes térmicas que han favorecido la constatación del buen comportamiento térmico de la envolvente en el período analizado.

La figura 12 correspondiente al período que va del 7 al 20 de abril indica un descenso de temperatura coincidente con el fin de semana. Como se observa, la temperatura interna descende lentamente logrando mantenerse sobre los picos máximos correspondientes al sábado y domingo. Es importante recordar que desde las 16hs del viernes hasta las 08:00hs del lunes siguiente, el edificio se mantiene sin ocupación ni consumo energético, es por eso que no se verifica una diferencia entre las temperaturas internas. El aumento de temperatura interna se produce en la oficina con la llegada del personal a las 08:00hs de la mañana durante los días hábiles, cuando los días se mantienen cálidos se verifica un aumento de hasta 3 ó 4 °C que se produce únicamente por cargas térmicas internas del equipamiento y la ocupación. Cuando descende la temperatura exterior, como puede apreciarse en el segundo lunes del período de Abril analizado, se incrementa la temperatura interna debido, no sólo a las cargas térmicas internas antes mencionadas, sino también al funcionamiento de los equipos de calefacción.

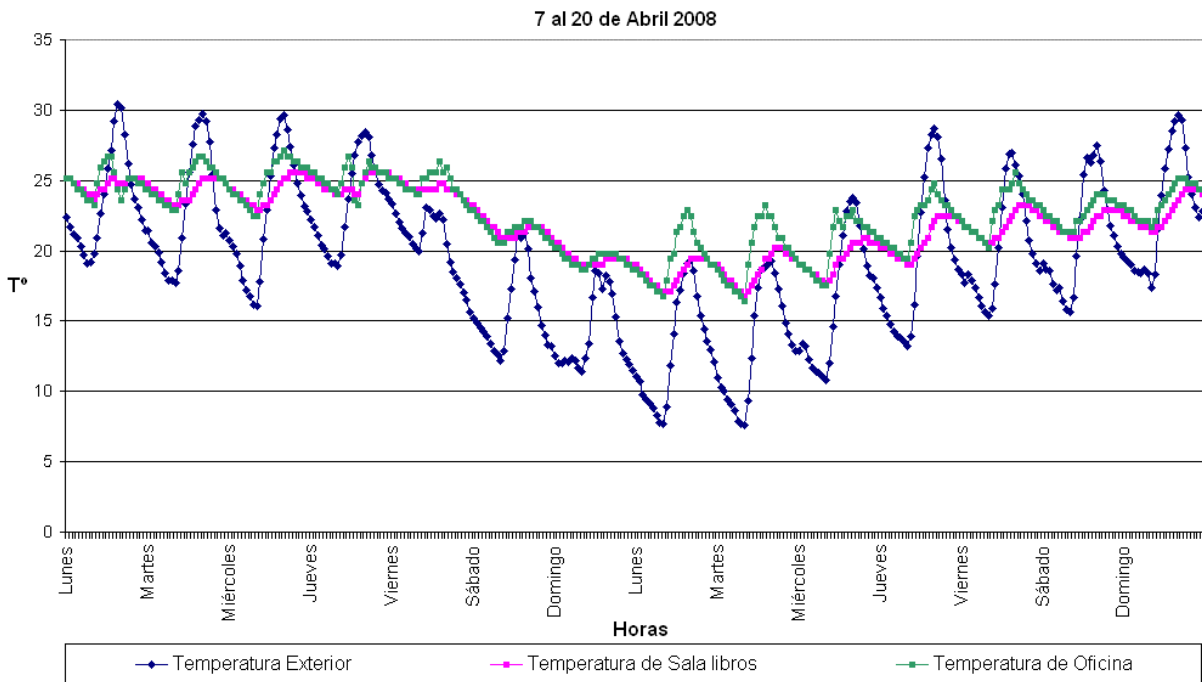
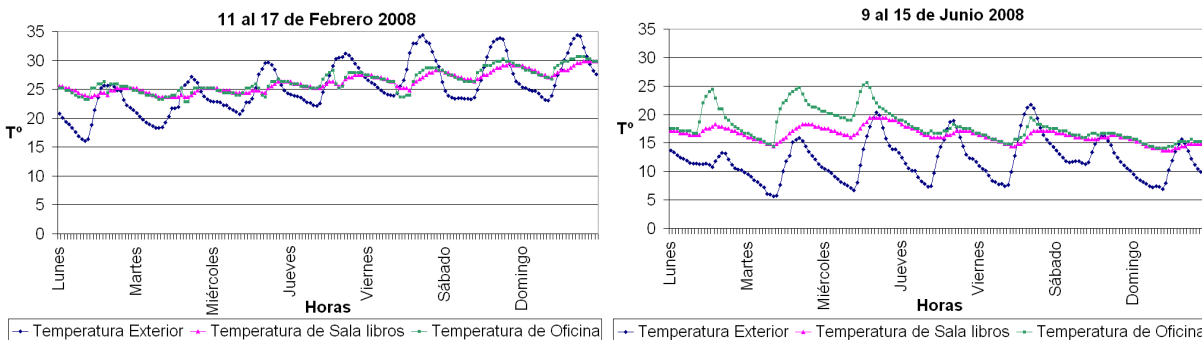


Figura 12: Gráfico de temperaturas de los días 7 al 20 de Abril del 2008

Durante los meses de verano, cuando la temperatura exterior sube notablemente, la temperatura interior acompaña el ascenso con una amplitud menor, habiendo una diferencia de hasta 5°C durante el fin de semana. En la figura 13 se pone de manifiesto el uso del aire acondicionado: la línea de color verde correspondiente a la oficina, aumenta a las 08:00 de la mañana y se mantiene en ascenso por carga térmica interior, la misma al cabo de una o dos hora descendi abruptamente debido al uso de aire acondicionado, también se constata un nuevo incremento de temperatura luego de las 16:00. Y se destaca finalmente que la temperatura interior se mantiene siempre por debajo de las máximas exteriores lo que se asocia con el buen comportamiento térmico de la envolvente.

Analizando los días más fríos del invierno, llegamos a los mismos resultados: la vivienda necesita ser calefaccionada para lograr una temperatura de confort pero se mantiene alrededor de 6 o 7 °C por encima de los valores mínimos de temperatura y de 3 a 5 °C de valores máximos de temperatura. Si se toma de la figura 15, como ejemplo, el domingo 3 de agosto cuyo mínimo de temperatura exterior fue de 3.7 °C a las 08:00, siendo de 13.7 °C la temperatura interior correspondiente, la diferencia rondó en los 10 °C. Por otra parte se observa, que en el lapso de una hora o dos se alcanza una temperatura confortable en los días más fríos de este año.



Figuras 13 y 14: Gráfico de temperaturas de los días 11 al 17 de Febrero y 9 al 15 de Junio del 2008

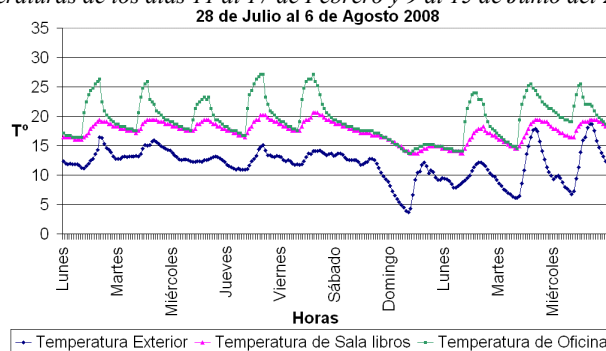


Figura 15: Gráfico de temperaturas de los días 28 de Julio al 6 de Agosto

La evaluación energética se realizó con el programa de simulación Energy Plus, para el cual se utilizaron los datos de temperatura y humedad exterior, correspondientes a la biblioteca del International Weather for Energy Calculations (IWEC), conformada por el promedio de 18 años de archivos registrados en la estación meteorológica Ezeiza, y almacenados por el U. S. National Climatic Data Center. Se incorporaron, a su vez, las propiedades térmicas de los materiales que componen su envolvente: mampostería, carpinterías y cubierta; la ocupación real del edificio considerando las horas de permanencia y la carga térmica interna; las renovaciones de volúmenes de aire y las pérdidas por infiltración de puerta y carpinterías que se midieron mediante un equipo switch que registra el tiempo de apertura de los mismos. En la figura 16 se grafican las temperaturas que brinda el programa a lo largo de un año, con la condición de mantener 24 °C en verano y 20 °C durante el invierno, en horario laboral.

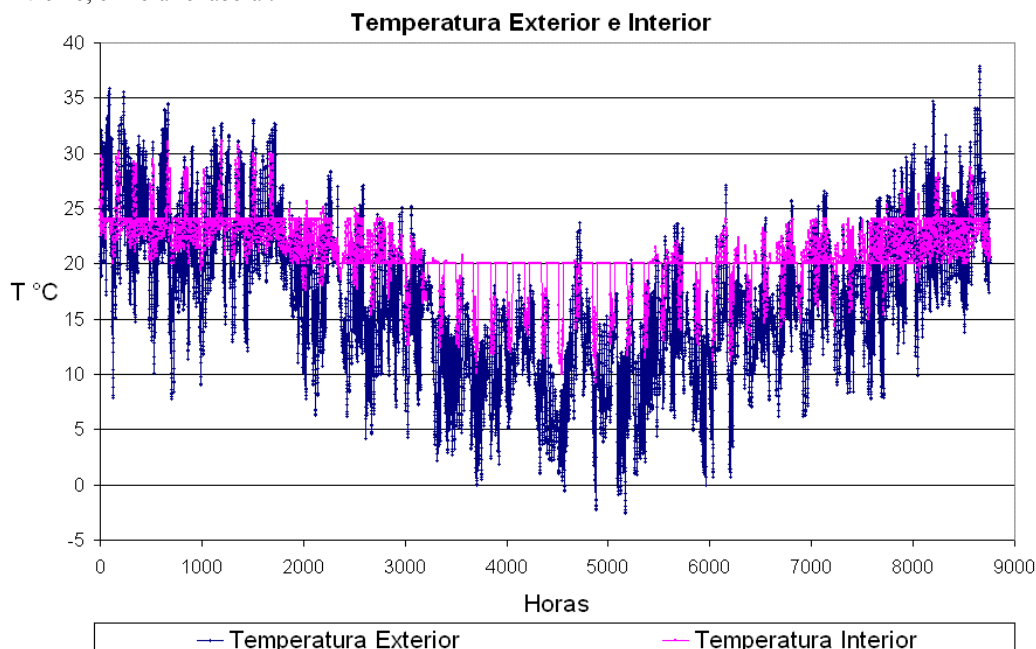


Figura 16: Gráfico de temperatura anual que brinda el Energy Plus.

| Date/Time | Temperatura exterior de bulbo seco (°C) | Demanda de energía en calefacción (kWh) | Demanda de energía en refrigeración (kWh) | Temperatura interior de bulbo seco (°C) |
|--------------|---|---|---|---|
| Enero | 23,7 | 1,5 | 235 | 24,1 |
| Febrero | 22,6 | 0,0 | 177 | 24,0 |
| Marzo | 20,7 | 9,3 | 99 | 23,0 |
| Abril | 16,7 | 58,7 | 16 | 21,1 |
| Mayo | 13,2 | 314,0 | 0 | 19,1 |
| Junio | 10,3 | 472,4 | 0 | 18,5 |
| Julio | 9,8 | 485,9 | 0 | 18,2 |
| Agosto | 11,3 | 459,3 | 0 | 19,0 |
| Septiembre | 13,0 | 310,0 | 0 | 19,1 |
| Octubre | 16,4 | 200,9 | 1 | 19,9 |
| Noviembre | 18,8 | 66,3 | 38 | 21,3 |
| Diciembre | 22,8 | 3,1 | 147 | 23,1 |
| Total | | 2381 | 713 | |

Figura 17: Cuadro de la demanda energética mensual en calefacción y refrigeración para mantener una temperatura constante de 20 grados para invierno y 24 para verano en el horario de 08:00hs a 16:00hs

La energía total anual requerida para mantener la temperatura mencionada precedentemente es de 3.094 kWh, si a este valor lo multiplicamos por el costo sin IVA que se obtiene de la factura Edenor (\$0.073 por kWh), llegamos al valor de \$226 anuales. Siendo \$174 el costo del total de energía para calefacción (2.381 kWh) por energía eléctrica. Si pasamos el mismo Total de energía para calefacción a m³ de gas natural (9300kcal/m³) obtenemos 220m³ de gas, y siguiendo los índices de tarifas Gas Natural Ban S.A., cuyo costo por m³ sin IVA alcanza el valor de \$0.229, podemos reducir el importe a \$50 anuales por gastos de calefacción. En el caso del gasto anual de refrigeración (713kWh), el costo alcanza el valor de \$52. Si comparamos los valores que nos brinda el programa con los hallados en la primera etapa del trabajo observamos una disminución de 24.5% en gastos de calefacción eléctrica y de 22% en gastos de calefacción con gas natural.

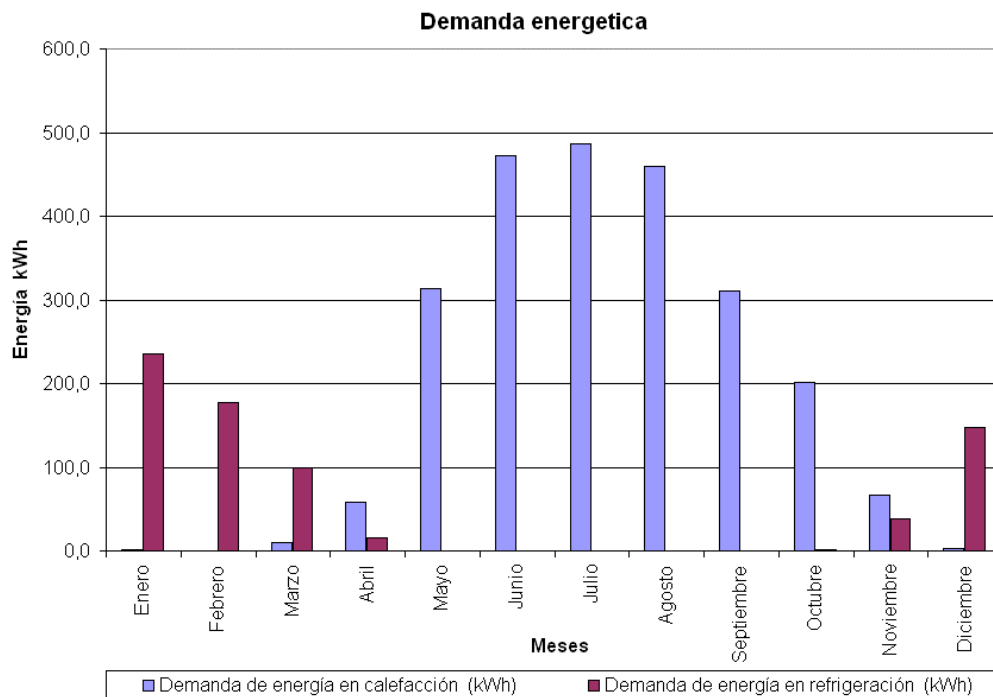


Figura 18: Gráfico de barras de la demanda energética en kWh.

CONCLUSIONES

Si retomamos la primera etapa del trabajo, donde se planteaba como objetivo la búsqueda de una vivienda que cumpla con las normas IRAM vigentes, y que además sea económicamente viable, se puede decir que el prototipo ha respondido satisfactoriamente, y que se ha verificado el comportamiento térmico analizado teóricamente.

Las mediciones ponen de manifiesto un buen comportamiento térmico de la envolvente, la amplitud de la curva de temperatura interna es considerablemente menor a la registrada exteriormente, no obstante se ve la necesidad de incorporar un sistema adicional para mantener la temperatura interna dentro de los parámetros de confort en periodos extremos de temperatura. También es importante comentar que en el lapso de una hora o dos se puede alcanzar una temperatura confortable en los días más fríos del año.

La simulación realizada con el programa Energy Plus pone de manifiesto una disminución del 21 al 24% entre el costo de energía para calefacción hallado y los valores obtenidos teóricamente por régimen estacionario según plantea la norma IRAM de Acondicionamiento Térmico de Edificios.

REFERENCIAS:

- L. Checmarew, V. Volantino, A. Oroz y M. Oghievski (2004). Vivienda INTI, Materiales Sistemas y Tecnologías para la construcción de la vivienda social. INTI Construcciones.
- V. Volantino (2003). Evaluación integral del comportamiento higrotérmico y energético de variantes para la construcción de viviendas en tiempos cortos. XXVI Reunión de trabajo ASADES Formosa.
- IRAM, Normas de Acondicionamiento Térmico de Edificios N°: 11603, 11604 y 11605
- ISO Norma 9836.
- U.S. Department of Energy, Energy efficiency and renewable energy. International Weather for Energy Calculations (IWEC)

ABSTRACT

This work presents measurements made in a social-interest house located in INTI. An energetic evaluation was also run with Energy Plus Software. This presentation belongs to a second part of the original work called "INTI's social-interest house" where three types of constructions are evaluated by theoretical and experimental tests in order to build a model that checks the comfort levels that are specified in IRAM Standards. The first part of the project, "Integral evaluation of variants in higrothermal and energetic behavior for buildings in short periods" was exposed in 2003 in ASADES. The registries of the house built demonstrate an excellent thermal behavior of the system; the humidity curves and temperatures do not follow the outdoor measurements. Otherwise, they keep constant throughout the year with gradual oscillations.

Keywords: Social-interest house, Higrothermal Comfort, energy saving, thermal insulation.