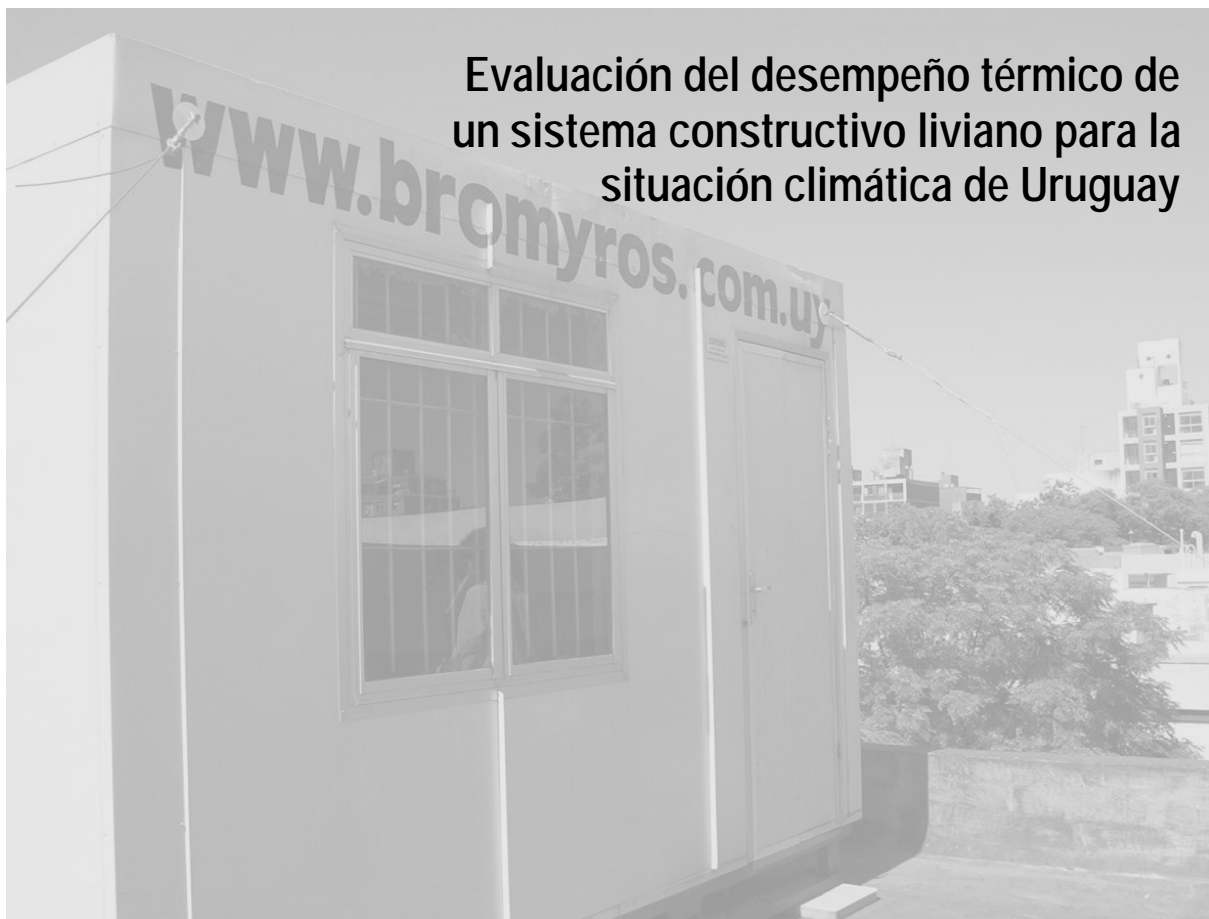


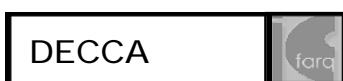
## Proyecto de Investigación I+D – Llamado CSIC 2004:

UDELAR - Facultad de Arquitectura - IC - DECCA



**Evaluación del desempeño térmico de  
un sistema constructivo liviano para la  
situación climática de Uruguay**

### INFORME FINAL



**Responsable:**  
Arq. Gabriela Díaz-Arnesto

**Equipo de investigación:**  
Arq. Alicia Picción (responsable área térmico)  
Bch. Magdalena Camacho - Arq. María Noel López – Arq. Sara Milicua

*mayo de 2007*

## Índice general

---

### Capítulo 1: Introducción

1.1. Fundamentación.....	pág 2
1.2. Objetivos.....	pág 3

### Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Clima en Montevideo .....	pág 4
2.1.1. Cartas bioclimáticas .....	pág 5
2.1.2. Evaluación bioclimática .....	pág 8
2.2. Principales conceptos y propiedades relacionados con la inercia térmica.....	pág 9
2.2.1. Resistencia térmica .....	pág 10
2.2.2. Capacidad térmica .....	pág 10
2.3. Comportamiento térmico de un sistema constructivo liviano .....	pág 10

### Capítulo 3: Materiales y métodos

3.1. Estudio de caso .....	pág 12
3.1.1. Base de datos climáticos.....	pág 12
3.1.2. Definición del prototipo a monitorear .....	pág 12
3.1.3. Equipamiento utilizado .....	pág 13
3.1.4. Protocolo de monitoreo .....	pág 14
3.2. Período de mediciones.....	pág 17
3.3. Procesamiento de datos medidos.....	pág 18
3.3.1. Distribución de temperaturas de bulbo seco.....	pág 18
3.3.2. Horas de confort interior y exterior .....	pág 35
3.3.3. Consumo de energía eléctrica para el período frío.....	pág 43
3.4. Verificación de la variabilidad de los datos .....	pág 45
3.5. Aplicación de los programas de simulación al prototipo .....	pág 52
3.5.1. Programas estudiados: SIMEDIF, ENERGY PLUS, ARCHISUN; ARQUITROP y SETI .....	pág 52
3.5.2. Protocolo de simulación .....	pág 53
3.5.3. Proceso de selección de los programas a utilizar.....	pág 55
3.5.4. Correlación entre los programas seleccionados y el monitoreo .....	pág 56

### Capítulo 4: Resultados

4.1. Análisis de monitoreo .....	pág 67
4.2. Análisis de la evolución de la temperatura interior en el prototipo, según estrategias realizadas .....	pág 71
4.3. Simulación de estrategias bioclimáticas: evolución de la temperatura interior y consumo de energía.....	pág 81
4.4. Evaluación del consumo de energía eléctrica mediante la simulación .....	pág 88
4.5. Comparación del prototipo liviano con uno pesado mediante la simulación .....	pág 91
4.6. Consumo anual de energía eléctrica simulado según distintas estrategias .....	pág 96

### Capítulo 5: Conclusiones .....

5.1. Recomendaciones para el diseño .....	pág 99
5.2. Recomendaciones para futuras investigaciones .....	pág 100

### Capítulo 6: Bibliografía .....

### Capítulo 7: Anexos

7.I. Ecuaciones para determinar hora solar y hora legal .....	pág A1
7.II. Datos registrados interiores y exteriores .....	pág A2
7.III. Programa Archisun 3.0.....	pág A55
7.IV. Programa Energy Plus.....	pág A61
7.V. Programa Simedif .....	pág A71

## Introducción

---

En los últimos años en Uruguay, se puede constatar la aplicación cada vez más frecuente de sistemas constructivos no convencionales en la construcción, que tienen como característica similar el hecho de ser 'livianos' o de baja inercia térmica. Este trabajo presenta la evaluación del desempeño térmico de un prototipo durante todo un año, realizado con un sistema constructivo liviano de paneles sándwich compuesto por un núcleo central de poliestireno expandido revestido con láminas metálicas, para las condicionantes climáticas de la ciudad de Montevideo.

### 1.1. Fundamentación

El diseño térmico correcto del edificio permite que el desempeño pasivo de la envolvente provea condiciones interiores controladas en el tiempo y cuando ello no es suficiente para lograr condiciones de confort, que el consumo de energía y la capacidad de los equipos de calefacción y refrigeración sea mínima.

El clima interior de los edificios, que determina las condiciones de confort y el consumo de energía, está afectado por el diseño del edificio, las propiedades de los materiales que conforman los cerramientos y el clima exterior. El conocimiento del comportamiento térmico de los distintos sistemas constructivos y materiales cobra entonces vital importancia; especialmente en países en vías de desarrollo como Uruguay, donde la mayoría de la población no puede disponer recursos económicos para obtener condiciones de confort por medios artificiales. Por tanto, debe lograrse el máximo de confort obtenible por medio de soluciones pasivas y aprovechamiento de recursos naturales, a los efectos de minimizar el gasto en instalación y funcionamiento de sistemas artificiales de acondicionamiento, lo que supone un ahorro para el usuario y para el país.

Para lograr estos propósitos es necesario, entre otras cuestiones, que los actores involucrados en la construcción en el Uruguay tengan un completo conocimiento del comportamiento de los distintos sistemas constructivos utilizados en el país; esto supone información técnica calificada sobre las propiedades de los materiales y sobre el desempeño térmico del sistema en la situación climática considerada.

En los últimos años se aplica frecuentemente sistemas constructivos no convencionales en la construcción en el Uruguay, tales como sistemas constructivos en madera, hormigón celular o metálicos, que tienen como característica similar el hecho de ser 'livianos' o de baja inercia térmica.

Los estudios analíticos sobre la experiencia realizada en Uruguay con sistemas constructivos livianos en los últimos años, más la información aportada por usuarios y técnicos y las patologías constatadas en estas construcciones los señala dentro de una problemática que amerita que se profundice en su estudio.

Un porcentaje importante de las construcciones livianas que se realizan en el país se destinan para viviendas de interés social, sector donde deben racionalizarse los costos, incluidos los de funcionamiento y mantenimiento. Para esto es necesario tener información de cómo se desempeñan térmicamente en las condiciones locales.

En el mercado existen pocos productos que cuenten con información técnica desde el punto de vista térmico o si la tienen no siempre están avaladas por laboratorios reconocidos. Asimismo en el mercado surgen nuevos sistemas constructivos o productos sobre los cuales es difícil establecer una correspondencia con las especificaciones en normas.

Entonces cuando en Uruguay se quiere investigar o diseñar con sistemas no convencionales faltan datos, las normas térmicas específicas son aún de alcance limitado y no se cuenta con un laboratorio que realice mediciones de propiedades térmicas de materiales, componentes y sistemas.

Las alternativas que tiene un técnico en el Uruguay ante esta situación son:

Confiar en la información que brinda el vendedor, que en general describe las "virtudes" del nuevo producto y a veces se complementa con alguna información técnica (folletos

comerciales). Tratándose de materiales importados, hecho frecuente en esta época de economía globalizada, esa información técnica corresponderá al país de origen del producto; quedará la duda de la validez de su trasposición a nuestro medio.

Confrontar con experiencias de otros técnicos sobre el producto. Esa experiencia, aún si resulta positiva, tiene un valor relativo ya que tratándose de productos de reciente incorporación no ha transcurrido tiempo suficiente para 'evaluar' su comportamiento.

Ante la falta de información se abstiene de utilizarlo.

Ninguna de las tres opciones resulta satisfactoria. En las dos primeras, el técnico está asumiendo la responsabilidad sobre el desempeño de un material o un sistema constructivo al especificar su uso en los recaudos que elabora; si la información que dispone es insuficiente o poco confiable, esa decisión apareja un cierto margen de riesgo. La tercera opción se traduce en una actitud conservadora, que impide difundir e incorporar las innovaciones tecnológicas que podrían quizás aportar a una mejora de la calidad y a una optimización de los costos de la construcción.

Es por esto que en este proyecto se presenta el comportamiento térmico de un sistema constructivo no convencional en base a paneles livianos con núcleo de poliestireno expandido revestido con láminas metálicas, para la situación climática de la ciudad de Montevideo y su evaluación con relación al confort del usuario y al ahorro energético.

## 1.2. Objetivos

### Generales

Contribuir al mejoramiento de la calidad de la construcción en nuestro país con criterios adecuados a las condiciones climáticas y a las posibilidades nacionales, profundizando en el conocimiento del desempeño térmico de edificaciones en base a sistemas constructivos livianos.

### Específicos

- 1.- Evaluar el comportamiento térmico de una construcción liviana en nuestra situación climática, analizando los resultados con relación al confort del usuario y al consumo de energía necesario para lograrlo.
- 2.- Evaluar los resultados de los programas de simulación aplicados a un sistema constructivo liviano por la comparación con los datos experimentales obtenidos a través del monitoreo del prototipo, para las condicionantes de nuestro clima.
- 3.- Determinar la influencia que provoca la variación de determinadas estrategias de diseño pasivas sobre la oscilación de la temperatura interior del prototipo estudiado.
- 4.- Determinar la influencia que provoca la variación de determinadas estrategias de diseño pasivas sobre el consumo de energía anual y estacional del prototipo estudiado.
- 5.- Desarrollar propuestas de formación de recursos y de transferencia de los conocimientos generados para fomentar cambios en la actitud proyectual que promuevan el aprovechamiento de los recursos de diseño y de los recursos naturales.

## Marco teórico

### 2.1. Clima en Montevideo

#### Temperaturas

Según la clasificación de Köpper a Uruguay le corresponde la clasificación climática cfa; c por ser templado húmedo; f, debido a que tiene precipitaciones durante todo el año, a, porque la temperatura del mes más cálido es superior a 22°C. El clima de Montevideo es templado con dos períodos bien diferenciados: uno cálido y otro frío.

Las temperaturas medias presentan por lo tanto variaciones, alcanzando una temperatura media en enero de 22.5°C y en julio de 10.7°C. Para definir los dos periodos se toma el siguiente criterio: el período frío se define por aquellos días del año en que la temperatura media diaria es menor a 19°C y el período caluroso cuando la temperatura media diaria es mayor a este valor (Rivero, 1988). La amplitud media anual es de aproximadamente 9°C siendo su variación media anual de 3°C, valores característicos de climas de altas humedades. El sur del país, es de influencia marítima presentando un período caluroso más corto y de amplitudes térmicas mayores a las del frío (ver fig 1a y b). Si tomamos los meses más representativos para cada período observamos que el momento del año en que la temperatura exterior se aleja más de las temperaturas de confort, considerando éstas entre 18 a 26°C<sup>1</sup>, es en el período frío (ver fig 2).

Montevideo-enero	tx	txm	tm	tnm	tn	A	HR prom	Viento dir-vel	Lluvia prom	Nubosidad décimos cielo cubierto
(1) DNM	42.8	28.5	22.5	16.8	7.6	11.7	67	ESE 17	77	4.7
(2) TRY <sup>2</sup>	-	28.4	24.1	18.7	-	9.7	72.1	SSE 22	-	-
tx = temperatura máxima absoluta (°C) txm = temperatura máxima media (°C) tm = temperatura media (°C) tnm = temperatura mínima media (°C)						tn = temperatura mínima (°C) A = amplitud (°C) HR = humedad relativa (%) Vel = velocidad viento km / h				

Fig 2.1a: Datos climáticos para un mes representativo del período caluroso

- (1) DNM Dirección nacional de Meteorología  
(2) TRY Año típico de referencia

Montevideo-julio	tx	txm	tm	tnm	tn	A	HR prom	Viento dir-vel	Lluvia prom	Nubosidad décimos cielo cubierto
(1) DNM	29.8	15	10.7	6.8	-0.5	8.3	82	NE 5.6	1018	6.2
(2) TRY	-	12.9	9.7	5.8	-	7.1	82.3	S 5.9	-	-

Fig 2.1b: Datos climáticos para un mes representativo del período frío

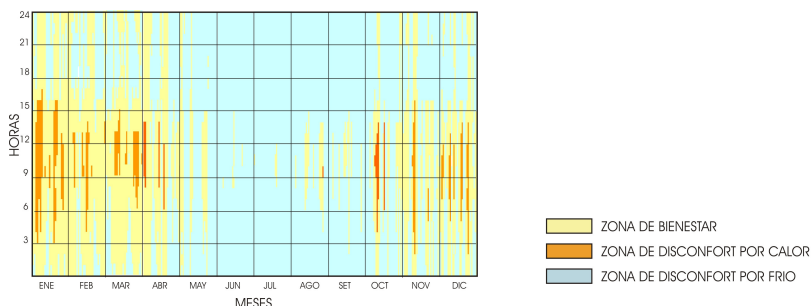


Fig 2.2. Isopletas para año típico de referencia de Montevideo (1993), Chauvie. V; 2005

<sup>1</sup> Rango de confort propuesto para Montevideo (Chauvie, 2005).

<sup>2</sup> El TRY (Thermal Reference Year) correspondiente a Montevideo para el período que comprende (1982-1994) se determinó que es el año: 1993 (Picción y Millicua, 2005).

### **Humedad relativa**

El índice medio de humedad relativa mensual en Montevideo es mayor en invierno que en verano (ver tabla 1a y 1b), alcanzando en julio un promedio de 82%. También se registran valores máximos medios de hasta 97% determinando inviernos húmedos. Para el período caluroso se registra en promedio 67% debido a las mayores temperaturas del aire que incrementan su capacidad de contener vapor de agua. Esta alta humedad se explica en parte por la proximidad al mar que produce altos niveles de evaporación de agua.

### **Radiación Solar**

La distribución entre días nublados y asoleados en Montevideo es diferente para los períodos caluroso y frío. El máximo índice de insolación se recibe en el mes de enero: 66% y el mínimo en junio 45%.

El promedio de irradiación global mensual para un plano horizontal (Grossi Gallegos et al., 2003; Righini y Grossi Gallegos, 2003) estimado para el mes de enero es 7000 Wh/m<sup>2</sup> y para el mes de junio es 2300 Wh/m<sup>2</sup>. Mientras que la base de datos climáticos del Departamento de Energía de la Oficina de Tecnología de edificios<sup>3</sup>, propone un valor de irradiación global mensual para el mes de enero es 6487 Wh/m<sup>2</sup> y 2300 Wh/m<sup>2</sup> para el mes de junio.

### **Viento**

En el Uruguay la dirección más frecuente del viento en el período frío es de componente Este, y su velocidad media de 4 m/s, comprendida entre un valor máximo de 5 m/s en Colonia y un mínimo medio de 2.5 m/s en Rivera. La dirección más frecuente del viento en el invierno es de componente Noreste y su velocidad media de 3.9 m/s, comprendida entre un valor máximo de 5.5 m/s en Carrasco y 3 m/s en Treinta y Tres y Rocha.

Las velocidades medias del viento en Montevideo se mantienen estables durante todo el año, oscilando entre 3.4 y 4.2 m/s. En el período caluroso en Montevideo sopla más frecuentemente desde la dirección ESE y en el período frío desde el NE.

### **Precipitaciones**

Las precipitaciones acumuladas anuales medias para todo el Uruguay son del orden de los 1300 mm, con una isoyeta (líneas de igual precipitación) máxima de 1600 mm en Rivera y una mínima de 1100 mm en la costa del Río de la Plata. La precipitación media estacional para el período caluroso calculada (1971-2006) a partir de las estaciones meteorológicas es del orden de los 355.8 mm. (litros por metro cuadrado), estando comprendida entre 453.5 mm. en la Estación Meteorológica Bella Unión en el Departamento de Artigas y 250.1 mm. en la Estación Meteorológica de Punta del Este en el Departamento de Maldonado. En el período 1997-2006 la precipitación acumulada media del verano para el país fue de 360.0 mm y para el invierno fue del orden de los 260.4 mm (litros por metro cuadrado).

El promedio de precipitación anual para Montevideo alcanza 1015 mm, distribuidos uniformemente a lo largo del año (variando entre 83 mm en junio hasta 109 en enero, por ejemplo para la estación Carrasco<sup>4</sup>).

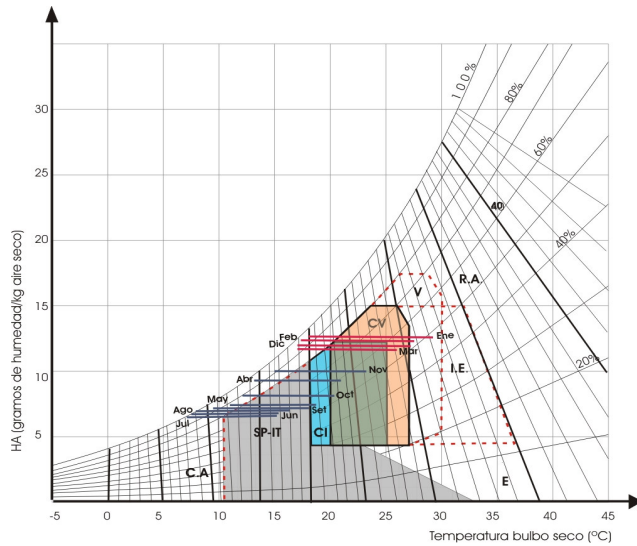
#### **2.1.1. Cartas bioclimáticas**

Hacia 1969 B. Givoni, sobre un diagrama psicrométrico, propone estrategias bioclimáticas para edificios con el objetivo de mejorar las condiciones de confort en los mismos.

Las características climáticas de Montevideo fueron colocadas sobre el climograma de Givoni en trabajos anteriores (Chauvie, 2006; Picción y Milicua, 2005) pero con datos distintos. Chauvie utilizó los datos de Dirección Nacional de Meteorología (DNM) y colocó las mínimas medias y las máximas medias mensuales, fig 2.3.

<sup>3</sup> Para su determinación se toman "typical weather years" años sucesivos armados estadísticamente a partir de datos medidos.

<sup>4</sup> Según Normales Climatológicas período 1961-1990



**Zonas de bienestar**

- CV: zona de bienestar período caluroso
- CI: zona de bienestar período frío

**Ampliación de zona de bienestar mediante estrategias bioclimáticas**

- V: zona de control posible con ventilación natural
- IE: zona de control posible con inercia en verano
- E: zona de control posible con refrigeración evaporativa
- SP-IT: zona de control posible de captación solar e inercia térmica
- RA: Refrigeración artificial
- CA: Calentamiento artificial

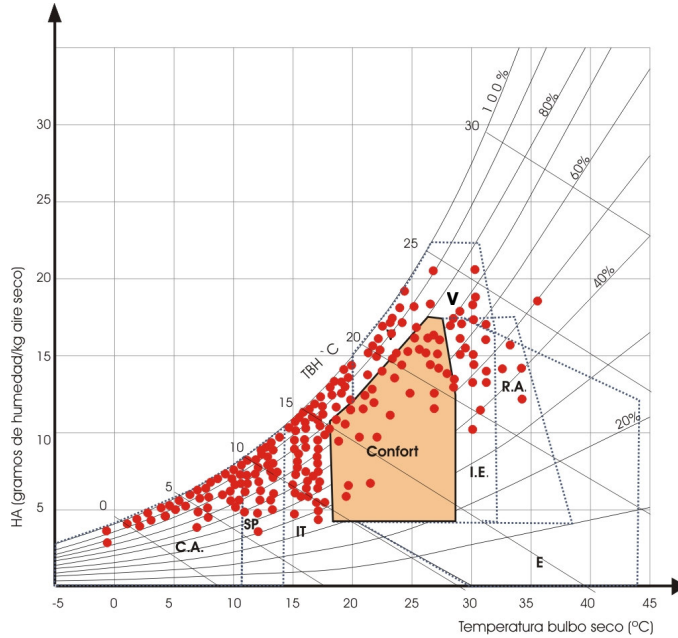
Fig 2.3. Climograma de Givoni donde se colocan los valores máx. y mín. medios mensuales de temperatura y humedad relativa según normales de la Dirección Nacional de Meteorología (modificado de Chauvie, V;2006)

De acuerdo a las temperaturas registradas una de las estrategias bioclimáticas recomendadas es la de disponer masa térmica para ampliar los rangos de confort (zona gris, fig 2.3). La colocación de masa térmica conjuntamente con la captación de energía solar a través de sistemas pasivos podría ser utilizada como estrategia bioclimática para el disconfort por frío, en 53.5%. Para el período caluroso las estrategias a utilizar serían la ventilación y el sombreado ambas con igual porcentaje. Estas conclusiones se sacan tomando los datos climáticos de los últimos treinta años.

Zonas	<b>Confort</b>		<b>30.80%</b>
	<b>Disconfort</b>		<b>69.20%</b>
<b>Estrategias bioclimáticas</b> para reestablecer el confort según climograma de Givoni, tomando normales de meteorología (Chauvie, 2006)	calor	3.40%	ventilación sombreado
			3.40%
	frío	65.80%	masa térmica y sis. Solares pasivos
			53.50%
			calentamiento solar pasivo y calentamiento artificial
			13.00%
	Sombreado		30.80%

Fig 2.4. Zonas bioclimáticas y principales estrategias para reestablecer el confort según climograma de Givoni, (Chauvie, 2006)

Picción y Milicua realizan un análisis similar pero trabajan con el año típico de referencia y con temperaturas mínimas medias y temperaturas máximas medias diarias. El año típico de referencia ("thermal reference year", TRY) es un tipo de año definido para una localidad a partir de 8760 parámetros. El procedimiento (Stamper,1977) está basado en la eliminación, en un período de diez años o más, de los datos que contienen temperaturas medias mensuales extremas (altas o bajas), hasta que sólo queda un año. Este TRY fue desarrollado para Montevideo (Picción y Milicua, 2005) y corresponde al año 1993, el análisis se hizo para los datos comprendidos entre 1987 y 1994. Sobre una carta bioclimática se plotearon los datos de temperatura mínima y máxima medias del TRY(1993), ver figura 2.5.



**Zonas de bienestar**

Confort

Ampliación de zona de bienestar mediante estrategias bioclimáticas

- V: zona de control posible con ventilación natural
- IE: zona de control posible con inercia en verano
- E: zona de control posible con refrigeración evaporativa
- SP-IT: zona de control posible de captación solar e inercia térmica
- RA: Refrigeración artificial
- CA: Calentamiento artificial

Fig 2.5. Climograma de Montevideo con valores diarios de temperatura máxima y mínima medias según el TRY (Picción y Milicua; 2006).

Utilizando el programa Analysis Bio 2.1.2 desarrollado por la Universidad Federal de Santa Catarina, Picción y Milicua determinaron, que la masa sería requerida en un 5.4% para el período caluroso y en un 29.1% para el período frío, tomando en consideración las temperaturas mínimas y máximas medias (ver figura 2.6). Si en cambio consideráramos las temperaturas medias horarias, en el período caluroso las estrategias a desarrollar de forma más eficiente serían: ventilación, masa para refrescamiento y refrescamiento evaporativo. En el período frío se debería optar por la masa térmica, calentamiento solar pasivo y calentamiento artificial.

Zonas	<b>Confort</b>			<b>22.00%</b>
	<b>Disconfort</b>			<b>78.00%</b>
<b>Estrategias bioclimáticas</b> para reestablecer el confort en Montevideo, para el TRY (Tmínima y Tmáxima medias diarias (Picción y Milicua, 2005))	calor	14.50%	ventilación	11.70%
			masa para refrescamiento	5.40%
			Refrescamiento evaporativo	5.50%
	frío	64.60%	Aire acondicionado	0.30%
			masa térmica	29.10%
			calentamiento solar pasivo	16.00%
		calentamiento artificial	19.20%	
		humidificación	0.00%	

Fig 2.6. Zonas bioclimáticas y principales estrategias para reestablecer el confort utilizando temperaturas mínimas medias y máximas medias para todo el año, Picción y Milicua, 2005.

Zonas	<b>Confort</b>			<b>20.90%</b>
	<b>Disconfort</b>			<b>79.10%</b>
<b>Estrategias bioclimáticas</b> para reestablecer el confort en Montevideo, para el TRY (T medias horarias (Picción y Milicua, 2005))	calor	14.50%	ventilación	14.00%
			masa para refrescamiento	2.30%
			Refrescamiento evaporativo	2.30%
	frío	64.60%	Aire acondicionado	0.10%
			masa térmica	29.20%
			calentamiento solar pasivo	15.60%
		calentamiento artificial	19.90%	
		humidificación	0.00%	
		Sombreamiento	31.10%	

Fig 2.7. Zonas bioclimáticas y principales estrategias para reestablecer el confort utilizando temperaturas medias horarias para todo el año, Picción y Milicua, 2005.

Si el estudio se desagrega en período caluroso y período frío resultan los siguientes porcentajes de horas en que las estrategias son aplicables (ver fig. 2.8.).



Zonas	Confort			42.60%
	Disconfort			57.40%
<b>Estrategias bioclimáticas</b> para reestablecer el confort en Montevideo, para el TRY considerando las temperaturas diarias de verano. (Picción y Milicua, 2005)	calor	14.50%	ventilación	36.00%
			masa para refrescamiento	5.60%
			Refrescamiento evaporativo	5.50%
			Aire acondicionado	0.30%
	frío	64.60%	masa térmica	18.70%
			calentamiento solar pasivo	1.30%
calentamiento artificial			0.00%	
humidificación			0.00%	
Sombreamiento			74.70%	
Zonas	Confort			5.30%
	Disconfort			94.70%
<b>Estrategias bioclimáticas</b> para reestablecer el confort en Montevideo, para el TRY considerando las temperaturas diarias de invierno. (Picción y Milicua, 2005)	calor	14.50%	ventilación	0.00%
			masa para refrescamiento	0.00%
			Refrescamiento evaporativo	0.00%
			Aire acondicionado	0.00%
	frío	64.60%	masa térmica	13.60%
			calentamiento solar pasivo	30.30%
calentamiento artificial			50.80%	
humidificación			0.00%	
Sombreamiento			3.20%	

Fig 2.8. Zonas bioclimáticas y principales estrategias para reestablecer el confort utilizando temperaturas medias horarias del período frío y caluroso.

Una vez procesados todos los datos de la estación meteorológica se utilizó el programa Analysis Bio 2.1.2 para visualizar la distribución de los datos climáticos a lo largo del año de mediciones en la Carta bioclimática de Givoni. Indica que un 61% de las horas sería necesario aplicar alguna estrategia para poder reestablecer el confort, siendo masa térmica y sombreado las de mayor porcentaje (ver figura 2.9).

Zonas	Confort			38.60%
	Disconfort			61.40%
<b>Estrategias bioclimáticas</b> para reestablecer el confort según climograma de Givoni, tomando los datos de temperatura y humedad relativa registrados en la estación meteorológica, según Analysis Bio 2.1.2 (Labeee,2004)	calor	11.80%	ventilación	10.90%
			alta inercia p/refrescamiento	3.35%
			refres. Evap.	3.21%
			aire acondicionado	0.14%
	frío	49.60%	masa térmica y sis. Solares pasivos	23.70%
			calentamiento solar pasivo	6.51%
calentamiento artificial			19.30%	
Sombreamiento			43.30%	

Fig 2.9. Zonas bioclimáticas y principales estrategias para reestablecer el confort utilizando temperaturas medias horarias del período frío y caluroso, a partir de las mediciones registradas.

### 2.1.2. Evaluación bioclimática

De los distintos análisis mostrados se infiere que una de las estrategias para alcanzar niveles de confort durante todo el año sería la colocación de masa térmica como estrategia bioclimática para el clima de Montevideo.

Se concluye que además las estrategias a utilizar para el período caluroso serían el sombreado y la ventilación y en el período frío: el calentamiento solar pasivo y el artificial (fig. 2.8).

Como consecuencia de este análisis primario es que se diseñó la estrategia de monitoreo efectuado durante todo el año de mediciones. Esta primera aproximación también fue ratificada cuando se analizó el año de mediciones a través del programa Analysis Bio (fig. 2.9).

## 2.2. Principales conceptos y propiedades relacionadas con la inercia térmica

### Introducción

La evaluación térmica cuantitativa de un cerramiento depende de su espesor y de las propiedades termo físicas de los materiales (Givoni, 1976), por esto es importante conocer cuales son estas características en los materiales livianos. El desempeño higrotérmico de estos cerramientos debe determinarse en régimen variable, ya que se debe considerar que la radiación solar incidiendo directamente sobre gran parte de las superficies no es una constante, que las temperaturas exteriores presentan oscilaciones, que cierta potencia de calor se origina en el interior del edificio por su uso, variando también en el tiempo y que el edificio además puede estar ventilado con un caudal de aire (eventualmente variable) que corresponde a una diferencia de temperatura variable entre la entrada y la salida. Estas dos últimas condiciones en esta investigación fueron controladas y no se considerarán como variables ya que el prototipo se encuentra sin ocupación y la ventilación es controlada por los investigadores.

Los materiales de construcción actúan como superficies resistentes al paso de energía calorífica que tiende a atravesar la masa del material perpendicular a la superficie, ofreciendo una resistencia térmica inversamente proporcional a la conductividad ( $\lambda$ ) del material y directamente proporcional al espesor ( $e$ ) (Alemany, 1978).

Además una construcción con alta inercia térmica, determina un alto grado de control de las condiciones térmicas interiores sobretodo en regiones con amplitud térmica superior a los 14 °C y radiación solar intensa, ya que regula no solo las fluctuaciones de temperatura debido al calentamiento o enfriamiento sino también a la radiación que penetra a través de los cerramientos vidriados, así como las ganancias o pérdidas provenientes de las infiltraciones. La inercia térmica depende de la resistencia térmica y la capacidad térmica de los cerramientos.

La inercia térmica de un sistema constructivo es la capacidad de un cerramiento de almacenar y liberar calor (Papst, 1999). Se define como el conjunto de fenómenos físicos que en su conjunto brindan una **atenuación y una demora en el pasaje de la onda de calor** desde el exterior hacia el interior de un elemento constructivo sujeto a un régimen periódico de flujo de calor.<sup>5</sup> Una edificación con poca inercia térmica tiene un desempeño térmico próximo a la variación de temperatura exterior; es decir la temperatura interior para este caso sigue las fluctuaciones de la exterior. El uso de la inercia térmica en edificación además de amortiguar los picos de temperatura exterior proporciona un retraso en los picos máximos y mínimos de la temperatura interior (Andrade, 1996). El hecho de almacenar calor dentro de una estructura de la edificación, funciona como un disipador de calor, evitando las oscilaciones y los picos durante el día (Yanas y Maldonado, 1995).

Lavigne expone sobre la **existencia de dos tipos de inercia, una de transmisión** que actúa resistiendo a la transmisión de dos magnitudes inseparables temperatura y calor y otra resistencia **por absorción**, que reduce las variaciones de temperatura absorbiendo (o restituyendo) el calor.

Estas propiedades son utilizadas como recurso de diseño, es así como por ejemplo en los ambientes comerciales puede ser diseñado para que la temperatura máxima interna suceda en un período posterior, normalmente nocturno cuando no hay ocupación. Esta estrategia también puede ser utilizada para la residencia.

La necesidad de disponer de masa térmica aumenta cuanto mayor son las variaciones exteriores y las ganancias por radiación o por ocupación. El clima de Uruguay presenta una amplitud térmica media (diferencias entre máximas y mínimas medias) variable entre 10°C y 14°C aproximadamente. Como lo veíamos anteriormente es una herramienta muy útil para el diseño bioclimático. En zonas como la nuestra se requiere diseñar con una adecuada inercia térmica además de aislación de manera de brindar a los edificios condiciones de confort con bajo consumo de energía. Según Szokolay, 1996, en climas con amplitudes medias por encima

<sup>5</sup> Extraído del glosario: <http://www.arqcon.com.ar/pprof/ppglosario.htm>, Noviembre de 2005.

de 10°C (como es el caso de Montevideo) las construcciones con inercia térmica, cuando no se ventila durante las horas del día, puede proporcionar mayormente un buen grado de confort.

### 2.2.1. Resistencia térmica

La transmisión de calor en una edificación y por lo tanto la pérdida de calor o su ganancia se produce por la existencia de una diferencia de temperatura entre el ambiente interior y el exterior. El sentido es siempre de la zona de mayor temperatura a la de menor temperatura. Siempre hay una tendencia al equilibrio entre las condiciones interiores y las exteriores, similar a los fenómenos que se produce por vasos comunicantes.

La referencia más común para determinar cómo se desarrolla este fenómeno es el “valor de R”, o de resistencia a la transmisión de calor. Cuanto más alto el valor de R total de un cerramiento (Resistencia superficial interior + Resistencia del cerramiento + Resistencia superficial exterior), es mejor su desempeño térmico ya que pierde o gana menos energía. El parámetro más utilizado sin embargo, es el valor U (transmitancia) que es el flujo de calor transmitido de un medio a otro a través de la unidad de superficie de un cerramiento cuando la diferencia de temperatura entre ambos es de 1°C, se mide en (W/m<sup>2</sup>K) y es el inverso de la resistencia total del cerramiento. Cuanto menor es su valor mejor es el desempeño térmico del cerramiento en estado estacionario. En nuestro país se dispone de un valor de referencia de  $U \leq 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ , recomendado por el DECCA al Banco Hipotecario del Uruguay.

### 2.2.2. Capacidad térmica

Otro parámetro importante a estudiar, ya que puede afectar el desempeño en determinadas situaciones, es la *capacidad térmica*. Esta es una medida de cuánto calor puede mantener el material en el tiempo. Para poder evaluar térmicamente un cerramiento, debe considerarse además del estado estacionario (R o el valor de U), su desempeño ante las fluctuaciones de flujo de calor.

Este “efecto de la masa” se refiere generalmente a la habilidad de los materiales pesados (cuando la masa es utilizada adecuadamente) de acumular y disipar calor.

La cantidad de calor almacenada en cada capa depende de su masa y de su capacidad calorífica específica, a mayor masa corresponde generalmente una capacidad calorífica elevada y por consiguiente una gran capacidad de almacenamiento energético.

La **capacidad térmica de los materiales** por unidad de superficie es el producto de la densidad ( $\rho$ ), el espesor ( $e$ ) y el calor específico ( $c$ ) de los componentes. El calor específico “ $c$ ”, expresa la cantidad de calor (J) necesaria para elevar en un grado (°C) la temperatura de una masa de 1 kilogramo. En los valores de los materiales de construcción no existe excesiva diferencia en esta propiedad, en cambio si hay diferencias en **los espesores y las densidades** los materiales.

Finalmente las diferencias en las inercias de los cerramientos dependen de: la capacidad y la resistencia térmica de los materiales que lo componen.

## 2.3. Comportamiento térmico de un sistema constructivo liviano

Los sistemas constructivos livianos son aquellos que tienen una masa térmica (M) menor a 100 Kg/m<sup>2</sup>. Generalmente cuentan con un aislante térmico en su alma, cuyo espesor es superior a los 5 cm, lo que determina que tengan una alta resistencia térmica.

También son susceptibles de sufrir infiltraciones de aire, lo que podría hacerles perder la efectividad de su aislamiento térmico.

Las capas aislantes en contacto con el aire interior disminuyen el flujo de calor que llega al ambiente y a su vez se limita el almacenamiento del exceso de calor interno en las capas vinculadas a este espacio, disminuyendo el efecto moderador de la temperatura interior deseable en climas con gran amplitud térmica a lo largo del día<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Arq. José Reyes, <http://www.arquisolar.com.ar/htm/notas/inercia.htm>, noviembre de 2005

La tasa de disminución de la amplitud térmica interior depende del espesor y la capacidad calorífica, al aumentar la capacidad calorífica del cerramiento disminuye la amplitud de la temperatura interior (Givoni, 1976). Según Givoni la propiedad más importante de los materiales, ya que afecta la respuesta a ganar o perder calor en un espacio es el producto ( $\lambda pc$ ) de la conductividad ( $\lambda$ ) por la capacidad volumétrica ( $pc$ ) particularmente para capas interiores. Cuando este producto es alto, por ejemplo en paredes de hormigón, los cerramientos acumulan calor teniendo como resultado una disminución en la variación de temperatura interior. En materiales livianos, este producto es bajo y determina que se caliente rápidamente y se enfríe lentamente cuando no existe ventilación. Este valor también determina la relación entre la temperatura interior y las temperaturas superficiales del espacio. Con valores bajos, es decir para cerramientos livianos las temperaturas superficiales se igualan rápidamente a la temperatura interior.<sup>7</sup>

#### **Efecto de la alta resistencia térmica**

El disponer de alta resistencias ( $R$ ) es decir bajas transmitancias ( $U$ ), determina que en invierno se ahorre en el consumo de energía.

Los edificios livianos bien aislados térmicamente tienen un buen desempeño térmico para las condiciones de los nórdicos (baja latitud), caracterizados por climas fríos, aunque si el clima es más cálido puede haber problemas de sobrecalentamiento (Karisson y Moshfegh, 2006).

#### **Efecto de la baja capacidad térmica**

El efecto cuantitativo de varios materiales en la elevación de la temperatura interior y las temperaturas superficiales fue desarrollado experimentalmente en el Building Research Station, Haifa, por Givoni y Hoffmani<sup>8</sup>. El experimento consistió en la colocación de 4 prototipos de 1.15m x1.53m x1.57m de altura, una ventana orientada al sur (hemisferio norte) de 0.66 x1.01m y en donde a la estructura liviana se le adicionaban distintos materiales para completar los cerramientos verticales. Los materiales utilizados fueron: poliestireno expandido (0.05m); bloques livianos de (0.07m); hormigón armado y hormigón alivianado. El prototipo con poliestireno expandido dio mayores amplitudes interiores en la mañana –tarde, llegando a valores entre 19 a 21°C por encima de la temperatura exterior. También fue el prototipo que registró temperaturas más bajas en la noche. Como conclusión de esos experimentos determinaron que cuando hay una significativa ganancia interna la respuesta depende de las propiedades termo físicas de los materiales, y el efecto de la resistencia térmica está en oposición a esta dirección, es decir que a mayor resistencia más rápido el calentamiento. La resistencia es eficiente cuando la carga térmica opera sobre las paredes exteriores desde el exterior, es así que la alta resistencia térmica y la baja capacidad térmica interna causan un rápido calentamiento y enfriamiento y viceversa. Esto está en concordancia con uno de los objetivos que debe cumplir un aislante térmico, el de conservar el calor o el frío.

<sup>7</sup> Givoni, B. Man and architecture, Chapter 6,7 y 8.

<sup>8</sup> Givoni y Hoffmani, Effect of materials properties on responses of building to solar radiation penetration, Research Report, Building Research Station, Haifa, 1968

## Materiales y métodos

---

### 3.1. Estudio de caso

El desempeño térmico de los edificios con relación al confort térmico y al ahorro energético resulta de la interacción dinámica de tres variables: clima, edificio y usuario.

En este estudio de caso se analizaron de la siguiente forma:

*Clima:* Los parámetros climáticos de: temperatura, humedad relativa (HR) y dirección y velocidad del viento se registraron en la estación meteorológica colocada en el azotea de la Facultad. La radiación solar no se midió sino que se tomaron valores calculados en estudios anteriores (Grossi, 2006; Yarke, 2004).

*Edificio:* se monitorean las variables del ambiente interior (temperatura de bulbo seco, HR) de un prototipo liviano, con registradores de datos autónomos.

*Usuario:* el monitoreo se realizó con el prototipo desocupado para tener un mejor control sobre las variables.

Es difícil recabar datos ambientales que permitan evaluar cuál o cuáles estrategias se desempeñaron más eficientemente. Se siguieron los criterios (Lomas, 1991) para mejorar la calidad de los datos obtenidos en el monitoreo. De acuerdo a estos criterios, los datos que se obtuvieron se encuentran dentro del nivel A; es decir aceptable para la validación de programas de simulación<sup>9</sup>, porque el edificio a estudiar no incluye sistemas de calefacción solar o refrigeración. Además los datos climáticos fueron recogidos en el mismo lugar (con excepción de la nubosidad que se consiguió de la estación Carrasco siendo esta la más próxima al lugar de medición) y a su vez los intervalos de tiempos de mediciones fueron menores a una hora. También cumple con algunas condiciones del nivel B, en cuanto a que el prototipo se monitoreo desocupado.

#### 3.1.1. Base de datos

La base de datos ambientales fue elaborada a partir de las mediciones de los parámetros climáticos interiores y exteriores. Se obtuvo los datos de nubosidad medidos en el período caluroso de la Dirección Nacional de Meteorología.

A partir de la nubosidad se estimó la radiación solar incidente en el plano horizontal, para los días de monitoreo.

#### 3.1.2. Definición del prototipo a monitorear

El prototipo está enteramente conformado por paneles multicapa compuestos por un núcleo de poliestireno expandido y terminación en ambas caras de chapa de acero zincado, pre pintado epoxi y acabado de poliéster blanco. El núcleo de poliestireno expandido tiene una densidad entre 16-20kg/m<sup>3</sup>, de 0.09 m de espesor. El peso aproximado del prototipo es de 680 kg, es decir 17 kg/m<sup>2</sup>. Sus dimensiones exteriores son las siguientes de 3.68x2.33x2.59m de altura. Consta de una única habitación cuyas paredes son de 0.1m de espesor; la pared orientada hacia el norte tiene una ventana de aluminio de 1.20 x1.20m, sin protecciones, y una puerta de 0.90x2.10m, conformada con el mismo tipo de panel pero de 0.05m de espesor (fig 3.1). Se ubicó en la azotea de la Facultad de Arquitectura, Montevideo, (34° 58' latitud Sur y longitud 56° 12' longitud Oeste).

---

<sup>9</sup> Para mayor información: "Selección de programas de simulación para la predicción del comportamiento térmico de edificios". (Chauvie, 2003)

## Capítulo 3:

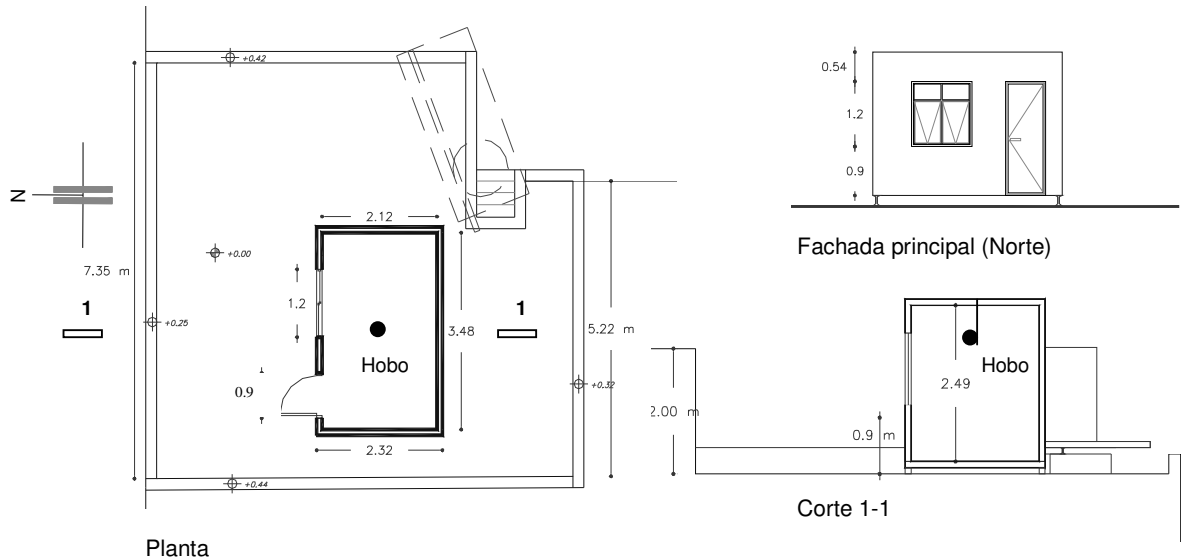


Fig 3.1 Planos del prototipo y ubicación de los sensores



Fig 3.2: Ubicación del prototipo liviano

### 3.1.3. Equipamiento utilizado

Los equipos utilizados para la adquisición de datos fueron los siguientes: data loggers HOB0® H8 Family, de Onset Computer Corporation, para medición de temperatura con una apreciación de  $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa interior con un error de medición de  $\pm 5\%$  y una Hobo Weather Station de 512Kb de memoria para medición de los parámetros exteriores, consta de sensores de: temperatura con una precisión de  $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa con un error de  $\pm 3\%$ , velocidad con un error de  $\pm 0.5$  m/s, dirección con un error de  $\pm 5^{\circ}$  y ráfagas de viento con un error de  $\pm 0.5$  m/s. Para humedades exteriores superiores a los 70%, el error en las mediciones aumenta a un 3%. Los registradores autónomos Hobo H8 Family, son de pequeño porte y pueden registrar hasta 32.520 medidas. La estación puede almacenar hasta 50.0000 mediciones en forma autónoma, y esta última fue adquirida gracias al financiamiento de esta investigación. En cuanto a la calibración de los equipos, según especificaciones del fabricante para el primer año de uso no es necesaria la calibración de la estación, luego de este período será necesario calibrar el sensor de humedad. Para verificar las mediciones se compararon las mediciones registradas en la estación y las registradas por la estación meteorológica de Carrasco. Sobre un total de 132 mediciones

en una sola ocasión superó la apreciación del aparato en temperatura y en 10 veces en la apreciación de la humedad relativa.

En una primera etapa para las mediciones interiores se colocaron tres registradores en simultáneo, registrando diferencias menores a los 0.3°C en el primer día de mediciones y en el segundo día los tres equipos registraron las mismas condiciones de temperatura interior y exterior. Los datos fueron homogéneos pero no idénticos.

Modelo Hobo H8 Family	1 canal interno de temperatura 1 canal interno de humedad relativa 1 canal interno de intensidad luminosa 1 canal externo de temperatura	interior	temperatura humedad relativa	0.7° hasta 21°C 25% a 95% (a 25°C)
Hobo Weather Station	1 canal temperatura 1 canal humedad relativa 1 canal de velocidad de viento y dirección de viento	exterior	temperatura humedad relativa velocidad de viento dirección de viento	- 20°C hasta 50°

Fig 3.3: Descripción de los sensores utilizados en el proyecto.

### Criterio de ubicación de los instrumentos y del prototipo.

El prototipo se ubicó con la ventana orientada al norte para que recibiera radiación directa durante todo el año.

Para la ubicación de los sensores se tomaron los siguientes criterios:

- **Medio exterior:**

Los registradores de temperatura y humedad están protegidos de la radiación solar directa y con ventilación suficiente.

- **Medio interior:**

Los sensores interiores se colocaron de manera que no recibieran radiación directa y se encuentren en el baricentro aproximado del prototipo (ver figura 1) para evitar errores de lectura. En el caso del prototipo un solo instrumento fue suficiente para medir los parámetros ambientales ya que no se dieron variaciones significativas. De acuerdo a lo expuesto por (Chauvie, 2003; Mathews, 1994) en lugares donde se genera gran producción de calor, se requiere de más de un sensor para obtener datos de calidad. En el caso del prototipo, esta condición no es relevante. Los sensores se colgaron en el centro geométrico del espacio con un dispositivo con ventilación para evitar la influencia de la radiación solar directa y los errores de lectura por la radiación de



onda larga.

Fig 3.4: Colocación de los sensores para el monitoreo

### 3.1.4. Protocolo de monitoreo

De acuerdo al punto 2.1.2. (ver tabla 3.5.a) se seleccionan las estrategias a estudiar. Las estrategias aplicadas en el período caluroso consistieron, básicamente, en reducir las ganancias de calor mediante colocación de protección solar, aumentar las pérdidas por ventilación natural, aportar mayor inercia térmica para controlar los flujos de calor y las

## Capítulo 3:

temperaturas en el tiempo colocando masa térmica interior en el prototipo. En cambio en el período frío las estrategias se basaron en la reducción de las pérdidas (controlando la ventilación), el aumento de las ganancias por aporte solar y/o colocación de calefacción y la colocación de masa térmica..

Zonas	Confort		38.60%	
	Disconfort		61.40%	
<i>Estrategias bioclimáticas</i> para reestablecer el confort según climograma de Givoni, tomando los datos de temperatura y humedad relativa registrados en la estación meteorológica, según Analysis Bio 2.1.2 (Labeee,2004)	calor	11.80%	ventilación	10.90%
			alta inercia p/refrescamiento	3.35%
			refres. Evap.	3.21%
	frío	49.60%	aire acondicionado	0.14%
			masa térmica y sis. Solares pasivos	23.70%
			calentamiento solar pasivo	6.51%
			calentamiento artificial	19.30%
	Sombreamiento			43.30%

Fig 3.5.a. Zonas bioclimáticas y principales estrategias para reestablecer el confort utilizando temperaturas medias horarias del período frío y caluroso, a partir de las mediciones registradas.

Se diseñó un protocolo de monitoreo que sistematizó las distintas estrategias para cada período (fig. 3.5.b). El inicio del monitoreo fue a las 18:00 hs ya que se tomó la precaución de dejar una primer tarde - noche sin considerar los registros para descartar la incidencia de la "historia" de flujos anteriores a las mediciones (Hernández y Lesino, 1996). Le siguieron tres días de monitoreo con libre fluctuación de temperatura interior y exterior y con un buen aporte de radiación solar (cielo medio). Es decir que no se incorporó ningún dispositivo en el prototipo. Para el período caluroso se inician las mediciones el 19 de diciembre de 2005 hasta el 17 de abril de 2006 y se continúan entre el 14 de noviembre y el 19 de diciembre de 2006. Las mediciones del período frío fueron consideradas desde 18 de abril hasta el 13 de noviembre de 2006.

#### Período caluroso

La primer estrategia estudiada fue la colocación de una protección solar en la ventana, totalmente opaca para evitar el ingreso de la radiación de onda corta (colocación de planchas de goma eva color claro); a esta estrategia se la denominó tapiado de ventana. Le siguió la colocación de un elemento de sombra sobre la ventana norte (aproximadamente 80% de coeficiente de sombra) para reducir el ingreso de radiación solar. Posteriormente se extendió la malla de sombra sobre la ventana y el cerramiento horizontal del prototipo.

La siguiente estrategia que se evaluó fue la ventilación en distintos períodos del día (diurna y nocturna).

Se combinaron; también estrategias es así como en la semana 8 se monitoreó con ventilación diurna y protección solar. En la semana 9 se colocó en el prototipo masa térmica interna y protección solar. La masa térmica se logró colocando mampuestos cerámicos de 0.12x0.25x0.25 m en el piso, adicionando así 1496 kg. También se estudio la combinación de todas las estrategias juntas, es así como en la semana 11 se monitoreó con masa térmica, protección solar y ventilación diurna (ver figura 3.5.b).

#### Período frío

La estrategia que comenzó el período frío fue fluctuaciones libres, siguiendo calefacción y luego colocación de masa en el prototipo. Finalmente se estudio la combinación de estrategias calefacción y masa (semana 38); protección y masa (semana 40). Debido a que el análisis de los registros monitoreados en el período frío mostró la influencia de la radiación solar en el comportamiento higrotérmico del prototipo, se tapió por algunas semanas la ventana del prototipo para tratar de disminuir la variabilidad de los registros (ver figura 3.5.b).



**Estrategía de diseño a evaluar:**

Semana 1- Fluctuaciones libres 19/12 al 23/12 (10hs) y ventana tapeada 23/12 al 26/12	<b>Período caluroso</b>
Semana 2-Protección solar en la ventana 26/12 (desde 11hs)-2/1	
Semana 3-Protección solar en todo el prototipo 2/1 al 9/1	
Semana 4-Ventilación diurna (de 10 a 14:00 hs) del 9/1 al 16/1	
Semana 5-Ventilación nocturna (de 18:00 hs a 10 hs) 16/1 al 23/1	
Semana 6-Masa :23/1 al 30/1	
Semana 7-Ventilación diurna (de 10:00 hs a 17 hs) 30/1 al 6/2	
Semana 8 -Ventilación diurna (de 10:00 hs a 15 hs) 6/2 al 13/2 con protección	
Semana 9-Masa y protección : 13/2 al 20/2	
Semana 10- Masa y protección: 20/2 al 27/2	
Semana 11-Masa, protección y ventilación : 27/2 al 6/3	
Semana 12-Masa y protección : 6/3 al 13/3	
Semana 13-Masa y protección :13/3 al 20/3	
Semana 14-Masa y protección :20/3 al 27/3	
Semana 15-Masa y protección :27/3 al 3/04	
Semana 16-Masa y protección :3/4 al 10/04	
Semana 17-Fluctuaciones libres: 10/4 al 17/4	
Semana 18- Fluctuaciones libres: 17/4 al 24/4	
Semana 19- Ventilación diurna : 24/4 al 1/5	
Semana 20- Fluctuaciones libres : 1/5 al 8/5	
Semana 21- Fluctuaciones libres : 8/5 al 15/5	
Semana 22- Fluctuaciones libres :15/5 al 22/5	
Semana 23- Fluctuaciones libres :22/5 al 29/5	
Semana 24- Fluctuaciones libres :29/5 al 5/6	
Semana 25- Fluctuaciones libres :5/6 al 12/6	
Semana 26- Fluctuaciones libres :12/6 al 19/6	
Semana 27- Colocación de calefacción:19/6 al 26/6	
Semana 28- Colocación de calefacción:26/6 al 3/7	
Semana 29-Fluctuaciones libres: 3/7 al 10/7	
Semana 30- Fluctuaciones libres: 10/7 al 17/7	
Semana 31- Fluctuaciones libres: 17/7 al 24/7	
Semana 32- Calefacción: 24/7 al 31/7	
Semana 33- Calefacción y calefacción con ventana tapeada: 31/7 al 7/8	
Semana 34- Calefacción y tapear ventana: 7/8 al 14/8	
Semana 35- Calefacción y tapear ventana: 14/8 al 21/8	
Semana 36- Calefacción y tapear ventana: 21/8 al 28/8	
Semana 37- Masa: 28/8 al 4/9	
Semana 38- Calefacción y masa: 4/9 al 11/9	
Semana 39- Calefacción y masa: 11/9 al 18/9	
Semana 40-Protección y masa: 18/9 al 25/9	
Semana 41-Protección y masa térmica: 25/9 al 2/10	
Semana 42-Protección y masa térmica: 2/10 al 9/10	
Semana 43- Masa: 9/10 al 16/10	
Semana 44- Masa: 16/10 al 23/10	
Semana 45- Masa: 23/10 al 30/10	
Semana 46- Masa: 30/10 al 6/11	
Semana 47- Masa:6/11 al 13/11	
Semana 48- Masa:13/11 al 20/11	
Semana 49- Masa:20/11 al 27/11	
Semana 50- Masa:27/11 al 4/12	
Semana 51- Masa:4/12 al 11/12	
Semana 52- Masa, ventilación y protección :11/12 al 18/12	
Semana 53- Masa y protección :18/12 al 25/12	
	<b>Período frío</b>
	<b>Período caluroso</b>

Fig 3.5.b. Protocolo de monitoreo

### 3.2. Período de mediciones

Las mediciones que se presentan en este informe se realizaron en forma continua, en la ciudad de Montevideo entre el 19 de diciembre de 2005 y el 19 de diciembre de 2006. La adquisición de datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa exterior e interior fueron realizadas cada 15 minutos. Cada 15 minutos el sensor se enciende y toma mediciones durante diez segundos y este promedio es registrado en la memoria de los sensores. Estos datos se bajan de la memoria de los sensores a la computadora y se realizan los promedios horarios para calcular así las temperaturas y humedades medias exteriores e interiores.

Si se compara la serie completa de mediciones exteriores registrada en la estación meteorológica con las temperaturas horarias del año de referencia se puede inferir que el año de mediciones fue un año más cálido, despegándose del TRY (color gris, punteado) especialmente en los meses de setiembre, octubre y noviembre (ver figura 3.5.c).

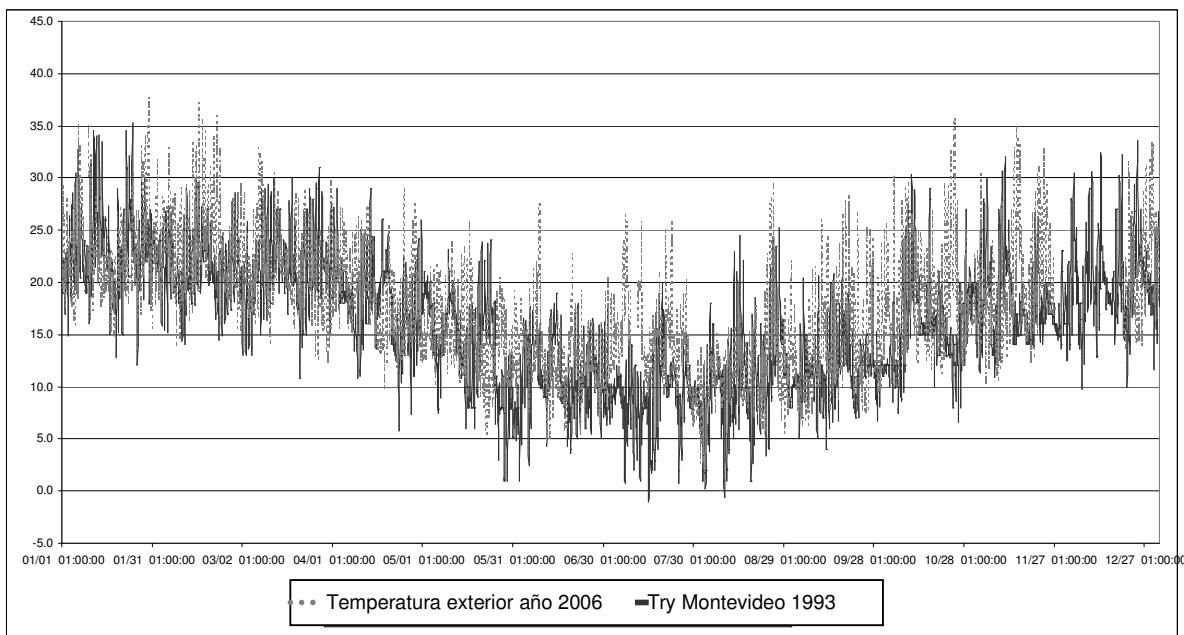


Fig 3.5.c. Comparación de mediciones

Las conclusiones que se presentan en los siguientes capítulos se realizaron a partir de las mediciones registradas para el año 2006. Para realizar conclusiones más acabadas se debería continuar registrando los datos de temperatura exterior para poder tener datos estadísticos más homogéneos ya que como se expondrá oportunamente la temperatura interior es dependiente del comportamiento exterior.

Para realizar las evaluaciones de las predicciones de los programas de simulación se debió convertir los datos a hora solar, ya que se recogen en hora legal, utilizando la ecuación:

$$\text{Ec 1:} \\ \text{Hora solar} = \text{hora legal} - (E' + E'') \quad (\text{Ver anexo I})$$

### 3.3. Procesamiento de datos medidos

#### 3.3.1. Distribución de temperaturas de bulbo seco

A continuación se presentan los datos de las temperaturas de bulbo seco interiores y exteriores de las estrategias realizadas en cada período. A los efectos de la evaluación se seleccionó las semanas con temperaturas más homogéneas (menor variabilidad de las condiciones exteriores) para facilitar las comparaciones de situaciones en las etapas experimental y de simulación.

También se muestra la irradiación global sobre plano horizontal calculada a partir del método de Gluver & McCulloch, en función de los datos medidos de nubosidad obtenidos de la Dirección Nacional de Meteorología. Se debe considerar que esto supone una aproximación necesaria para poder sacar conclusiones, ya que no se disponen de datos de irradiación solar.

Luego de la selección de las semanas representativas de cada estrategia, se eligió para cada una de ellas los tres días con comportamiento similar. En los anexos se presentan todas las semanas registradas, (ver anexos II)

#### Período caluroso

En este período las estrategias realizadas fueron las siguientes:

1	FL	fluctuaciones libres
2	VT	ventana tapeada
3	PTV	protección en techo y ventana
4	PV	protección en ventana
5	VD	ventilación diurna
6	VN	ventilación nocturna
7	VD+P	ventilación diurna con protección
8	M	masa
9	M+V	masa y ventilación
10	M+P	masa y protección
11	M+P+V	masa, protección y ventilación

Fig 3.6. Estrategias para el período caluroso

**Fluctuaciones libres (FL)**

Dentro de la primera semana de fluctuaciones libres las temperaturas de bulbo seco exterior presentan gran variabilidad teniendo en promedio una amplitud de 9.74°C, siendo la temperatura mínima registrada de 13.61°C y la máxima 31.63°C.

Debido a la gran variabilidad de los datos se descartó esta semana y se optó por la semana 17 que presenta días sucesivos de temperatura exterior parecidos. La amplitud exterior de esta nueva semana.

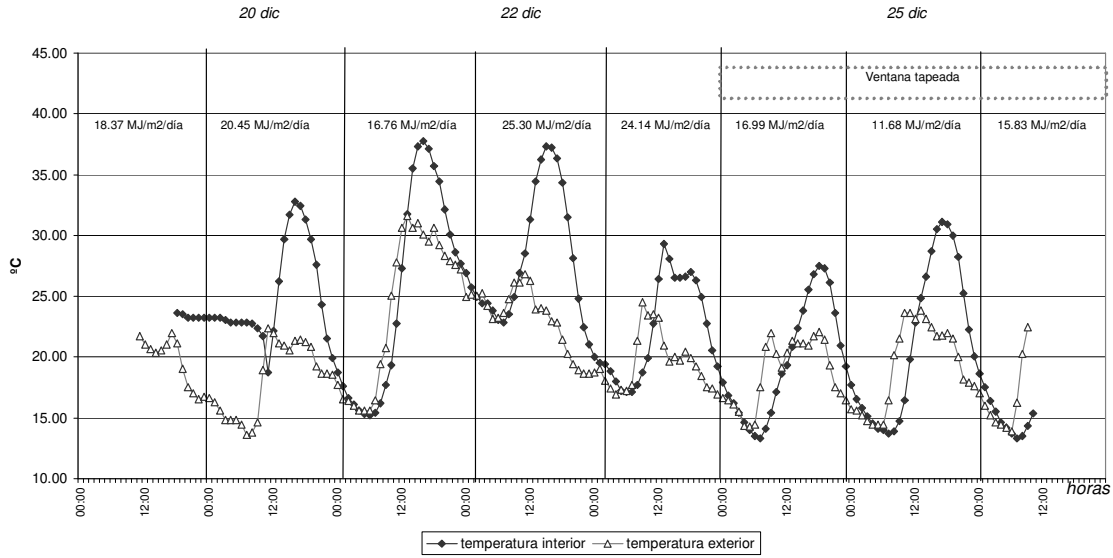


Fig 3.7. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 1 de mediciones del 19/12/05 al 26/12/05 con FL

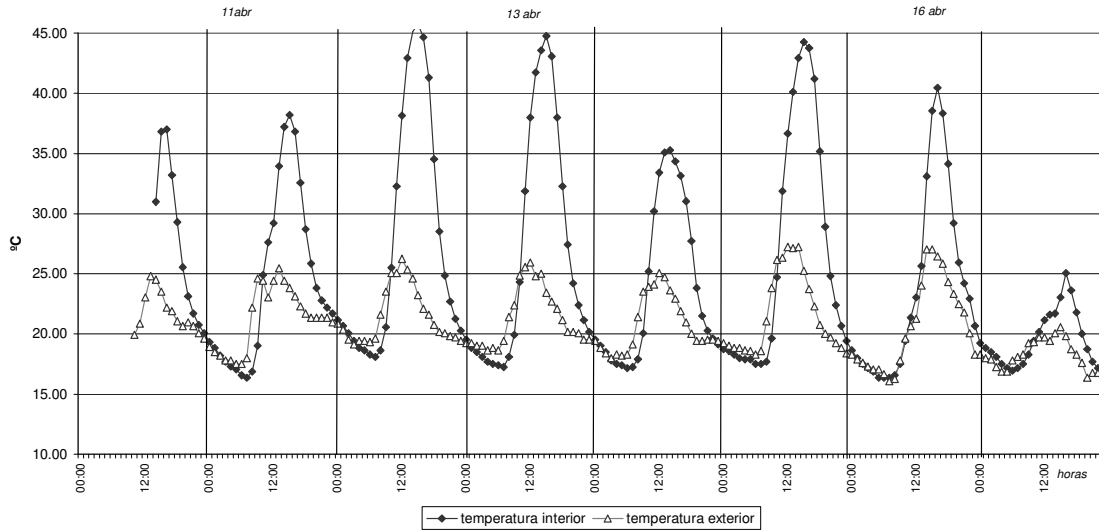


Fig 3.8. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 17: del 10/04/06 al 17/04/06 de mediciones con FL

## Fluctuaciones libres 19/12 al 23/12 hasta 14:00 hs

Fecha	Ti	Ti (hobo2)	Te	$\Delta t$ pr(Ti - Te)	Ai	Ae	HR i	HR em
19-Dic-05	23.35	24.30	19.65	4.65	14.47	10.41	48.05	47.13
20-Dic-05	24.97	21.92	18.15	3.77	15.23	5.26	44.72	61.77
21-Dic-05	25.09	25.31	24.06	1.25	20.57	7.37	51.35	50.52
22-Dic-05	28.14	28.33	23.33	5.00	17.14	11.81	48.31	62.93
23-Dic-05	20.15	20.38	19.53	0.85	13.32	13.84	80.69	75.42
					<b>16.15</b>	<b>9.74</b>		
					Ai/Ae =	1.66		

## Fluctuaciones libres del 10 al 17 abr

Fecha	Ti	Te	$\Delta t$ (Ti - Te)	Ai	Ae	HR i	HR e
07-Abr-06		19.71	-19.71				
08-Abr-06	24.28	21.25	3.03	21.83	7.94	69.28	85.17
09-Abr-06	27.59	21.50	6.09	27.68	7.11	60.66	79.63
10-Abr-06	26.49	21.29	5.20	27.54	7.29	56.72	76.92
11-Abr-06	23.83	20.75	3.08	18.13	7.09	60.97	77.74
12-Abr-06	26.61	21.55	5.06	26.76	8.94	59.02	78.16
13-Abr-06	23.68	20.59	3.09	24.10	10.93	64.10	78.59
14-Abr-06	19.47	18.26	1.21	25.08	4.19	72.13	78.32
15-Abr-06	20.51	16.31	4.20	20.40	4.38	47.47	53.67
16-Abr-06	19.12	15.47	3.65	21.99	5.44	43.81	52.97
17-Abr-06							
				<b>23.72</b>	<b>7.03</b>		
				Ai/Ae =	3.37		

## Referencias

<i>ti = temperatura interior media diaria</i> <i>te = temperatura exterior media diaria</i> <i><math>\Delta t</math> = diferencia promedio entre ti y te</i> <i>Ai = amplitud de temp. interior media diaria</i>	<i>Ae = amplitud de temp. exterior media diaria</i> <i>HRi = humedad relativa interior media diaria</i> <i>HR e = humedad relativa exterior media diaria</i> <i>Ai / Ae = coeficiente entre promedios Ai y Ae</i>
---	--

Fig 3.9. Tabla de comparación de las 2 semanas con FL. Datos medios diarios.

## Ventana tapiada (VT)

En la estrategia de VT la distribución de las temperaturas de las temperaturas interiores es más homogénea llegando a una amplitud de 14.5 °C, coincide estos registros con días de menor radiación y menor temperatura exterior.

## Ventana tapeada del 24 al 26 dic

Fecha	Ti	Te	$\Delta t$ (Ti - Te)	Ai	Ae	HR i	HR e
24-Dic-05	19.61	18.68	0.93	14.20	15.87	63.05	60.77
25-Dic-05	21.17	19.31	1.86	17.82	17.90	59.39	61.77
26-Dic-05	15.19	15.22	-0.03	11.47	19.93	67.81	67.16
				<b>14.50</b>	<b>17.90</b>		
				Ai/Ae =	0.81		

Fig 3.10. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia VT

**Protección en techo y ventana (PTV)**

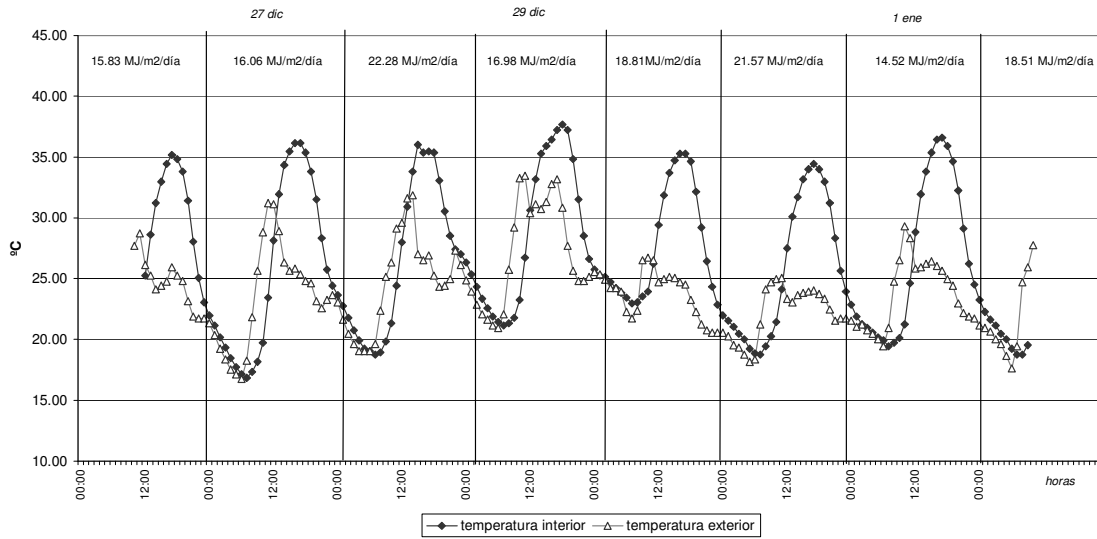


Fig 3.11. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 2 de mediciones: del 26/12/05 al 2/01/06 con PTV

**Protección en techo y ventana 26 dic al 2 ene**

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (Ti - Te)$	Ai	Ae	HR i	HR e
26-Dic-05	30.32	24.69	5.64			32.33	44.64
27-Dic-05	25.53	23.41	2.13	19.28	14.46	46.35	53.78
28-Dic-05	26.33	24.60	1.73	17.27	12.80	54.74	60.61
29-Dic-05	28.52	27.07	1.45	16.52	12.54	55.76	57.69
30-Dic-05	27.58	23.84	3.74	12.41	6.16	54.06	67.34
31-Dic-05	25.59	22.14	3.45	15.68	6.89	60.06	70.60
01-Ene-06	26.59	23.69	2.90	17.15	9.89	55.40	64.55
02-Ene-06							

**16.38**      **10.46**  
 Ai/Ae =      1.57

Fig 3.12. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia PTV

**Protección en ventana (PV)**

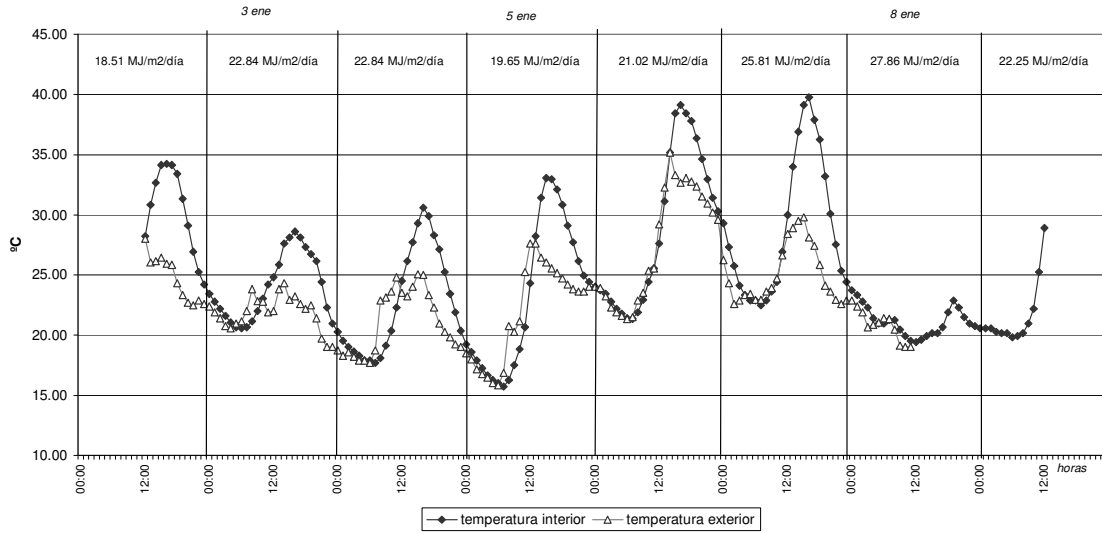


Fig 3.13. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 3 de mediciones: del 2/01/06 al 9/01/06 con PV

**Protección en ventana del 2 al 9 ene**

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i	HR e
02-Ene-06	25.88	23.18	2.70	15.46	10.41	60.65	65.94
03-Ene-06	23.93	21.89	2.04	7.64	5.26	65.50	72.40
04-Ene-06	22.66	21.09	1.56	12.79	7.37	55.02	59.29
05-Ene-06	23.17	21.89	1.28	17.14	11.81	51.35	56.08
06-Ene-06	28.70	27.50	1.20	17.76	13.84	39.88	42.12
07-Ene-06	28.76	25.07	3.70	17.20	7.23	54.19	68.71
08-Ene-06	21.17	20.85	0.32	3.73	3.82	91.13	86.41
09-Ene-06							
				<b>13.10</b>	<b>8.53</b>		
				Ai/Ae =	1.54		

Fig 3.14. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia PV

**Ventilación diurna (VD)**

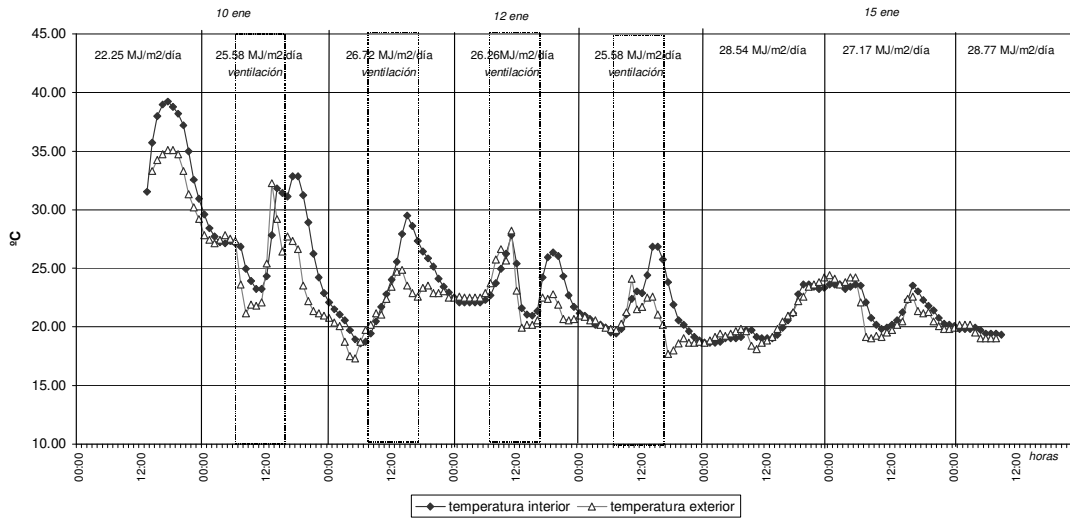


Fig 3.15. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 4 de mediciones: del 9/01/06 al 16/01/06 con VD

**Ventilación diurna del 9 al 16 ene**

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (Ti - Te)$	Ai	Ae	HR i	HR e
09-Ene-06	28.15	s/d	s/d	s/d	s/d	69.90	s/d
10-Ene-06	27.60	25.30	2.31	9.79	11.29	67.07	72.93
11-Ene-06	23.19	21.59	1.60	11.02	7.55	63.97	72.21
12-Ene-06	23.42	22.63	0.79	6.85	8.30	89.97	88.74
13-Ene-06	21.63	20.30	1.33	8.07	6.40	67.25	62.64
14-Ene-06	20.32	20.38	-0.06	5.16	6.12	84.15	87.01
15-Ene-06	21.88	21.32	0.56	4.02	5.36	95.56	93.80
16-Ene-06							

$$\frac{A_i}{A_e} = \frac{7.48}{7.50} = 1.00$$

Fig 3.16. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia VD



## Ventilación nocturna (VN)

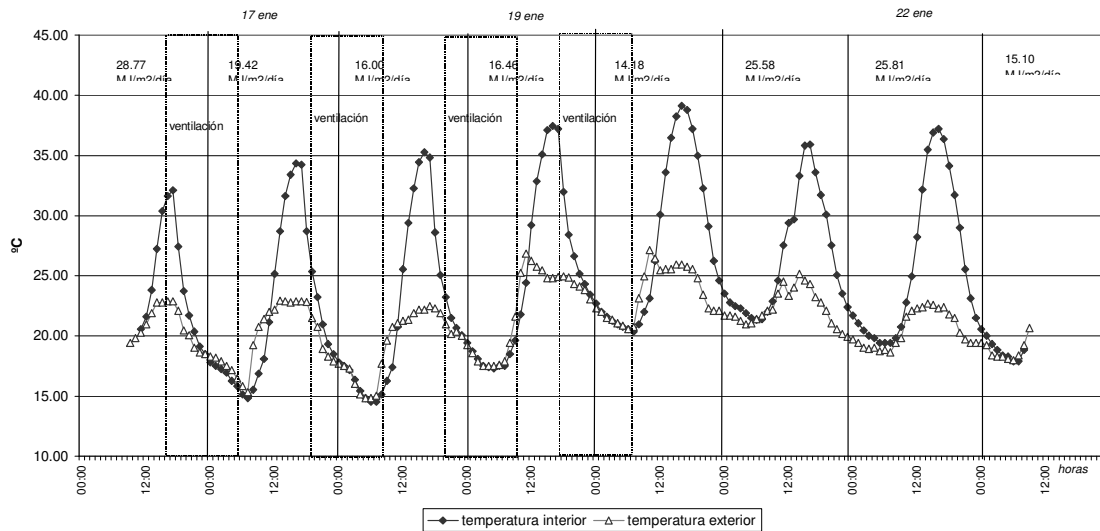


Fig 3.17. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 5 de mediciones: del 16/01/06 al 23/02/06 con VN

## Ventilación nocturna del 16 al 23 ene

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i	HR e
16-Ene-06	22.39	20.36	2.03	13.67	4.39	78.68	75.59
17-Ene-06	21.95	19.87	2.08	19.48	7.63	54.30	57.97
18-Ene-06	22.04	19.36	2.68	20.71	7.63	58.29	65.86
19-Ene-06	24.86	22.25	2.61	20.11	9.31	66.35	74.69
20-Ene-06	27.63	23.61	4.02	18.73	6.56	66.73	79.77
21-Ene-06	26.34	22.29	4.05	14.59	5.27	69.05	82.83
22-Ene-06	25.88	20.50	5.37	17.80	4.01	53.18	68.04
23-Ene-06							

**17.87**  
Ai/Ae = **6.40**  
**2.79**

Fig 3.18. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia VN

**Ventilación diurna con protección (VD+P)**

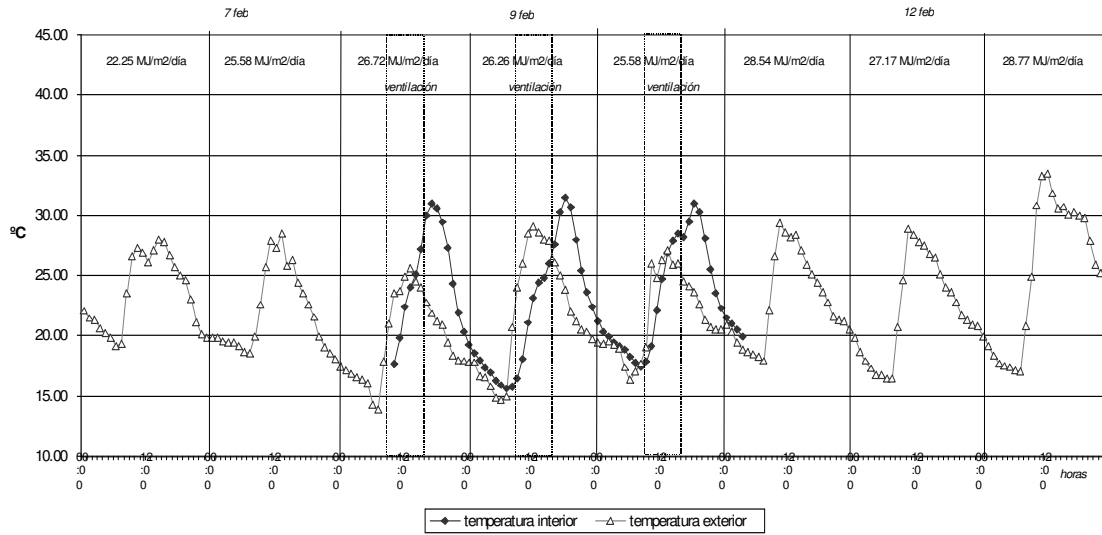


Fig 3.19. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 4 de mediciones: del 6/02/06 al 13/02/06 con VD + P

**Ventilación diurna 10:00 hs -15 hs y protección del 6 al 13 feb**

Fecha	Ti	Te (estación)	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i	HR e
06-Feb-06		23.50			8.88		48.23
07-Feb-06		22.09			9.94		56.68
08-Feb-06	25.10	19.78	5.32	13.33	11.77	43.10	58.76
09-Feb-06	21.98	21.71	0.27	15.85	14.44	56.64	60.53
10-Feb-06	23.25	21.60	1.65	13.46	10.75	58.63	66.06
11-Feb-06		22.92			11.50		65.31
12-Feb-06		22.16			12.43		63.71
13-Feb-06							
				<b>14.21</b>	<b>11.39</b>		
				Ai/Ae =	1.25		

Fig 3.20. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia VD +P

**Masa (M)**

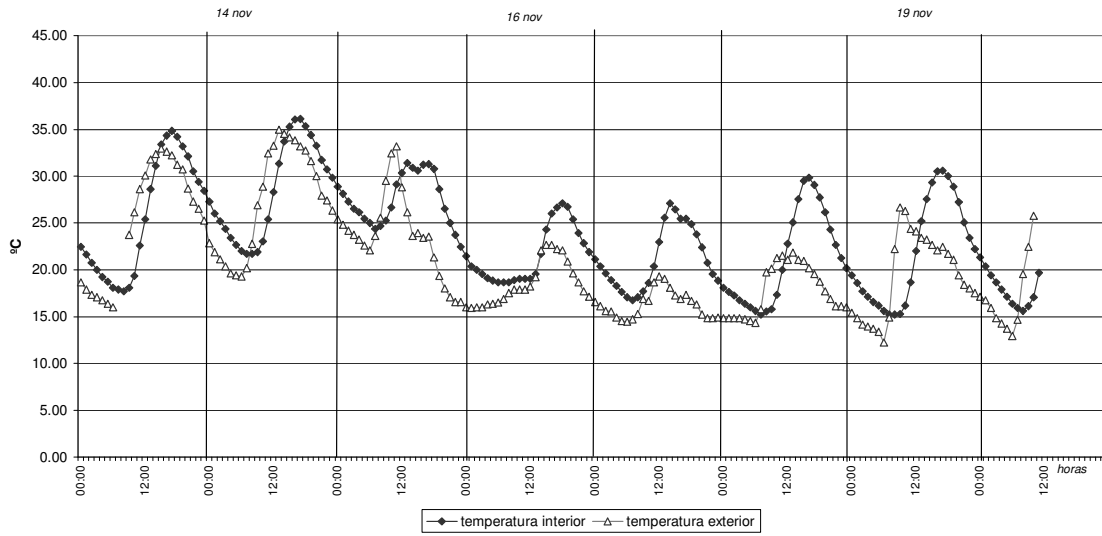


Fig 3.21. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 47: del 6/11/06 al 13/11/06 con M

**Masa del 6 al 13 nov**

Fecha	Ti	Te (estación)	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i	HR e
06-Nov-06	21.35	19.17	2.18	10.41	7.73	64.22	75.05
07-Nov-06	19.59	15.87	3.72	11.49	7.74	42.03	49.12
08-Nov-06	18.21	13.01	5.20	13.01	13.01	34.85	34.85
09-Nov-06	20.48	20.33	0.16	15.00	15.36	36.76	33.68
10-Nov-06	22.24	18.18	4.06	9.94	6.09	44.81	59.13
11-Nov-06	21.67	18.52	3.15	14.98	11.08	44.27	54.59
12-Nov-06	22.31	20.79	1.51	14.69	12.93	46.17	51.21
13-Nov-06							

**12.79**      **10.56**  
Ai/Ae =      1.21

Fig 3.22. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia de M

**Masa y ventilación (M+V)**

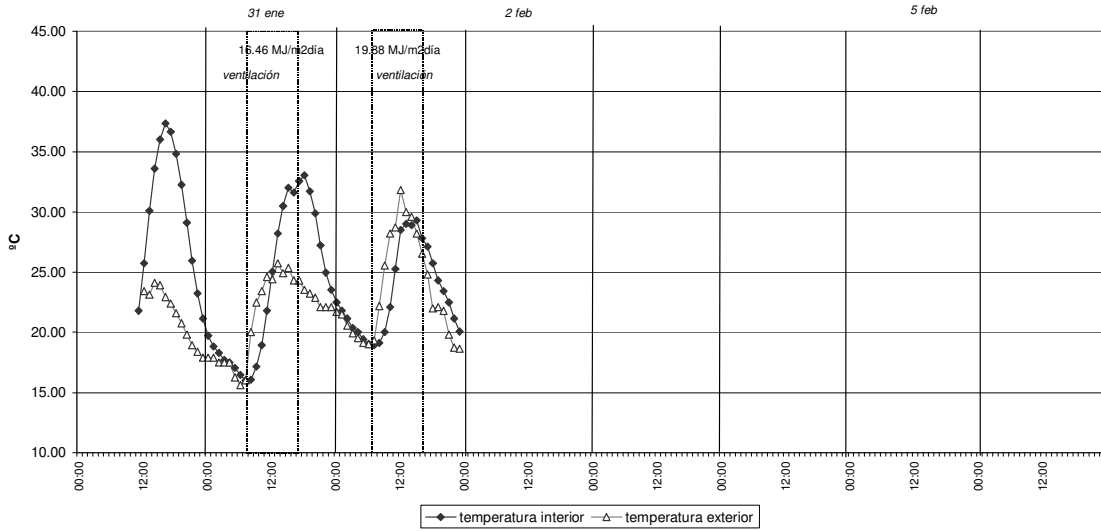


Fig 3.23. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 7: del 6/11/06 al 13/11/06 con M+V

**Masa y ventilación del 30 ene al 6 feb**

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (Ti - Te)$	Ai	Ae	HR i	HR e
30-Ene-06	30.56	21.45	9.11	15.52	6.21	38.58	59.42
31-Ene-06	23.59	21.32	2.27	17.07	10.14	48.25	61.92
01-Feb-06	23.47	23.31	0.16	10.36	13.17	61.50	67.44
02-Feb-06	19.56	21.53	-1.97	1.91	7.87	80.03	76.16
03-Feb-06		24.00			7.93		79.89
04-Feb-06		23.42			5.61		84.92
05-Feb-06		26.90			10.49		69.23
06-Feb-06							
				<b>11.21</b>	<b>8.77</b>		
				Ai/Ae =	1.28		

Fig 3.24. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia de M+V

**Masa y protección (M+P)**

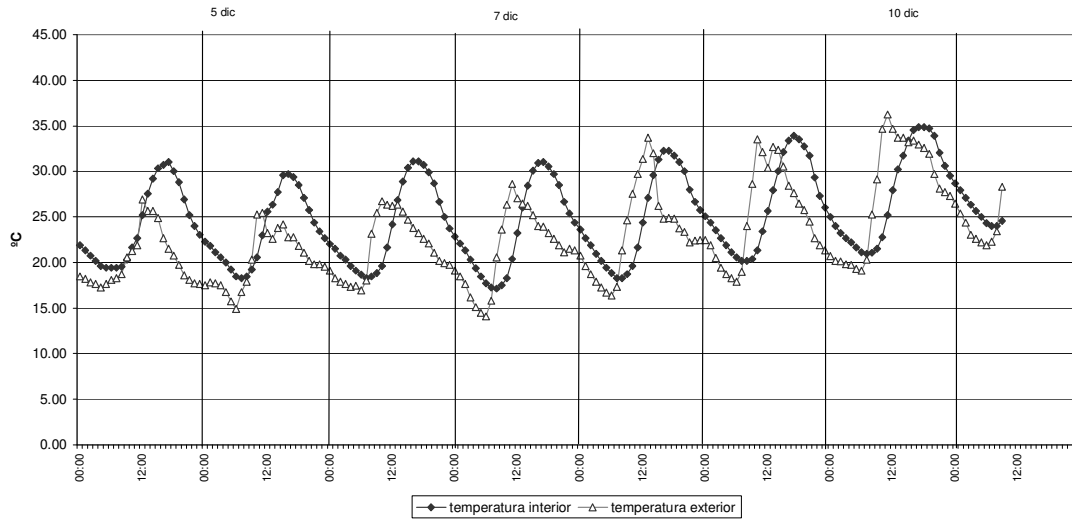


Fig 3.25. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 51: del 4/12 al 11/12 con M+P

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i (hobo1)	HR e
04-Dic-06	24.09	20.23	3.85	11.60	9.70	48.31	65.26
05-Dic-06	23.47	20.22	3.25	11.42	10.52	52.69	66.83
06-Dic-06	24.00	21.66	2.35	12.84	9.78	55.37	59.76
07-Dic-06	23.65	21.44	2.20	13.88	14.52	54.96	61.13
08-Dic-06	24.76	23.32	1.44	13.96	17.32	53.73	56.63
09-Dic-06	26.14	25.04	1.10	13.72	15.59	26.14	51.40
10-Dic-06	26.68	27.64	-0.96	13.90	17.11	46.83	40.49
11-Dic-06							
				<b>13.04</b>	<b>13.50</b>		
				Ai/Ae =	0.97		

Fig 3.26. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia de M+P

**Masa, protección y ventilación (M+P+V)**

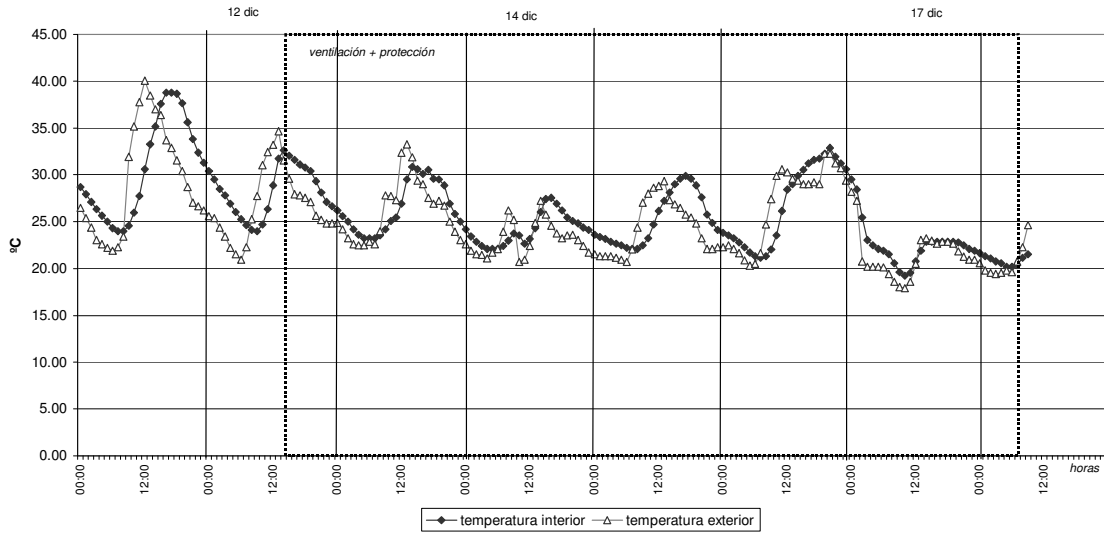


Fig 3.27. Distribución de las temperaturas horarias de la semana 52: del 11/12 al 18/12 con M+P+V

**Masa, ventilación y protección del 11 al 18 dic**

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (Ti - Te)$	Ai	Ae	HR i	HR e
11-Dic-06	30.62	29.39	1.22	14.76	18.12	34.63	34.05
12-Dic-06	28.28	26.74	1.53	8.65	13.70	49.08	59.43
13-Dic-06	26.54	26.18	0.35	7.58	10.80	61.10	65.33
14-Dic-06	24.16	23.14	1.02	5.43	6.56	72.80	85.19
15-Dic-06	25.24	24.28	0.96	7.81	8.64	63.27	68.70
16-Dic-06	26.84	26.90	-0.07	11.72	11.97	59.30	61.52
17-Dic-06	22.60	21.46	1.14	10.27	10.31	76.65	92.60
18-Dic-06							
				<b>9.46</b>	<b>11.44</b>		
				Ai/Ae =	0.83		

Fig 3.28. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia de M+P+V

**Período frío**

En este período las estrategias realizadas fueron las siguientes:

1	FL	fluctuaciones libres
2	C	calefacción
3	C+VT	calefacción y ventana tapeada
4	C+M	calefacción y masa
5	M	masa
6	M+P	masa y protección

Fig 3.29. Tabla resumen de estrategias realizadas en el período frío.

**Fluctuaciones libres (FL)**

Debido a la gran variabilidad de los registros se optó por elegir la semana que corresponde a la primera semana de junio del año 2006.

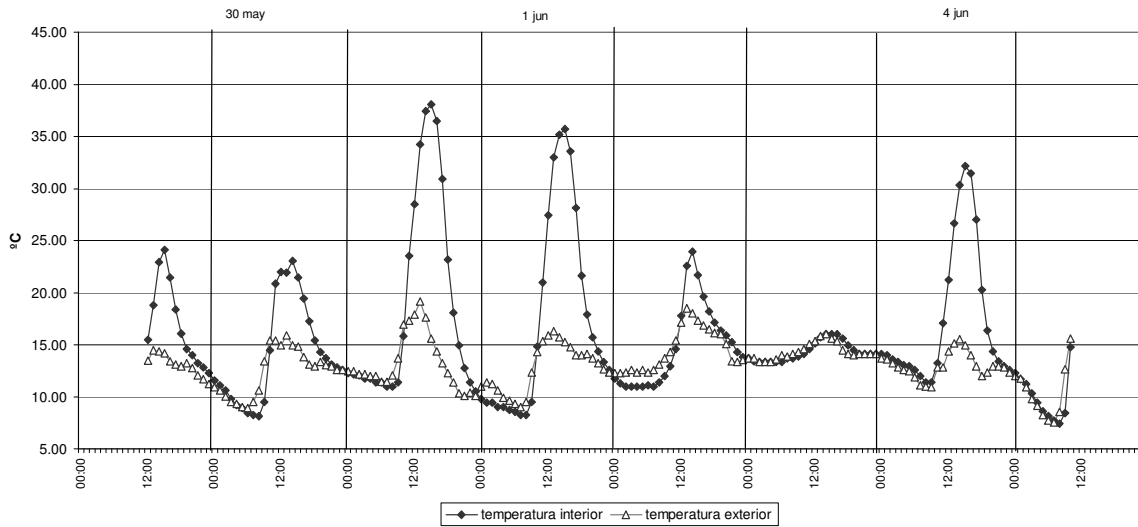


Fig 3.30. Distribución de las temperaturas horarias de la semana: 24 del 29/5 al 5/6 con FL

En este se puede ver que mientras la temperatura exterior no superó los 20°C la interior fue superior a los 35°C.

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (Ti - Te)$	Ai	Ae	HR i	HR e
29-May-06	13.38	11.96	1.42	15.48	4.36	61.13	76.18
30-May-06	14.08	12.40	1.68	14.92	6.97	65.00	81.18
31-May-06	18.83	13.27	5.56	27.60	9.03	56.39	78.90
01-Jun-06	17.26	12.73	4.53	27.47	7.26	61.54	81.98
02-Jun-06	14.85	14.48	0.38	12.93	6.21	68.77	77.07
03-Jun-06	14.33	14.33	0.00	2.68	2.68	93.73	98.54
04-Jun-06	17.38	12.96	4.42	20.76	4.63	67.77	83.01
05-Jun-06							

**17.41**  
Ai/Ae = **5.88**  
**2.96**

Fig 3.31. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia

**Calefacción (C)**

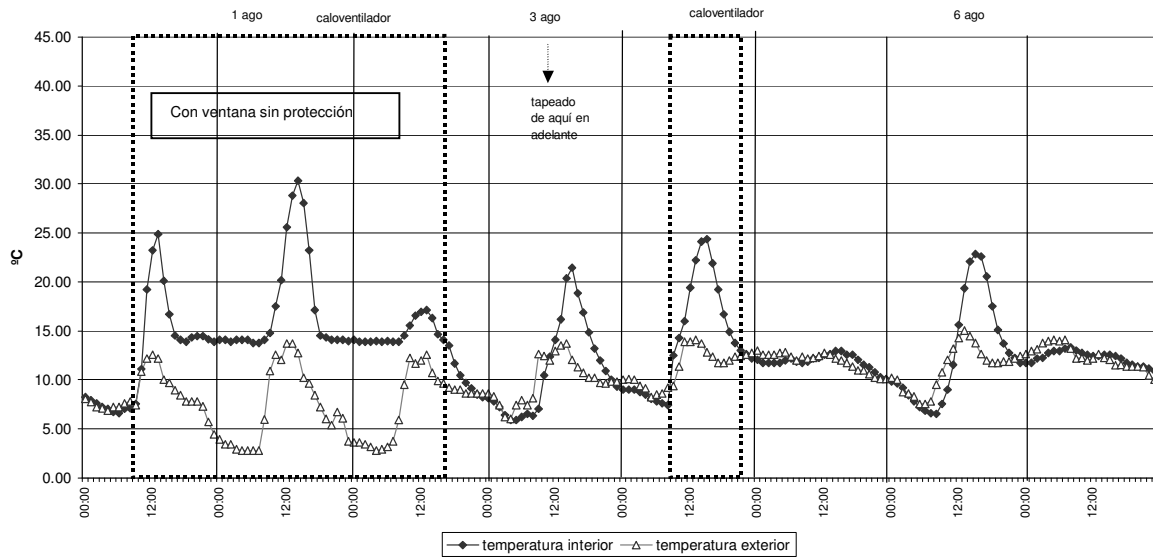


Fig 3.32. Distribución de las temperaturas horarias de la semana: 33 del 31/7 al 3/8 con C

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i	HR e
31-Jul-06	12.59	8.34	4.26	18.27	8.08	57.32	72.07
01-Ago-06	17.37	7.08	10.29	16.51	10.92	36.31	71.54
02-Ago-06	13.44	7.60	5.84	8.91	9.77	42.28	70.49
03-Ago-06							
04-Ago-06							
05-Ago-06							
06-Ago-06							
07-Ago-06							
				<b>14.56</b>	<b>9.59</b>		
				Ai/Ae =	1.52		

Fig 3.33. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia de C



**Calefacción y ventana tapiada (C+VT)**

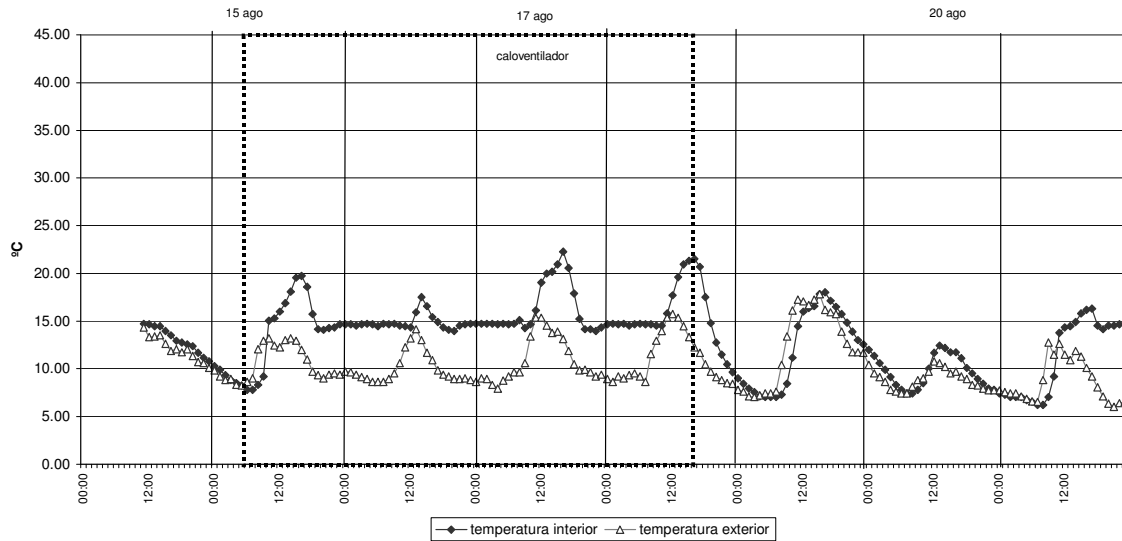


Fig 3.34. Distribución de las temperaturas horarias de la semana: 35 del 15/8 al 17/8 con C+VT

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (Ti - Te)$	Ai	Ae	HR i	HR e
14-Ago-06							
15-Ago-06	13.12	10.52	2.59	11.88	4.99	59.37	67.32
16-Ago-06	14.87	10.05	4.82	3.53	5.56	52.97	81.39
17-Ago-06	16.29	10.85	5.44	8.29	7.40	54.96	85.25
18-Ago-06	15.64	11.01	4.64	10.04	7.09	52.35	75.43
19-Ago-06							
20-Ago-06							
21-Ago-06							

**8.44**      **6.26**  
Ai/Ae =      1.35

Fig 3.35. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia de C+VT

**Calefacción y masa (C+M)**

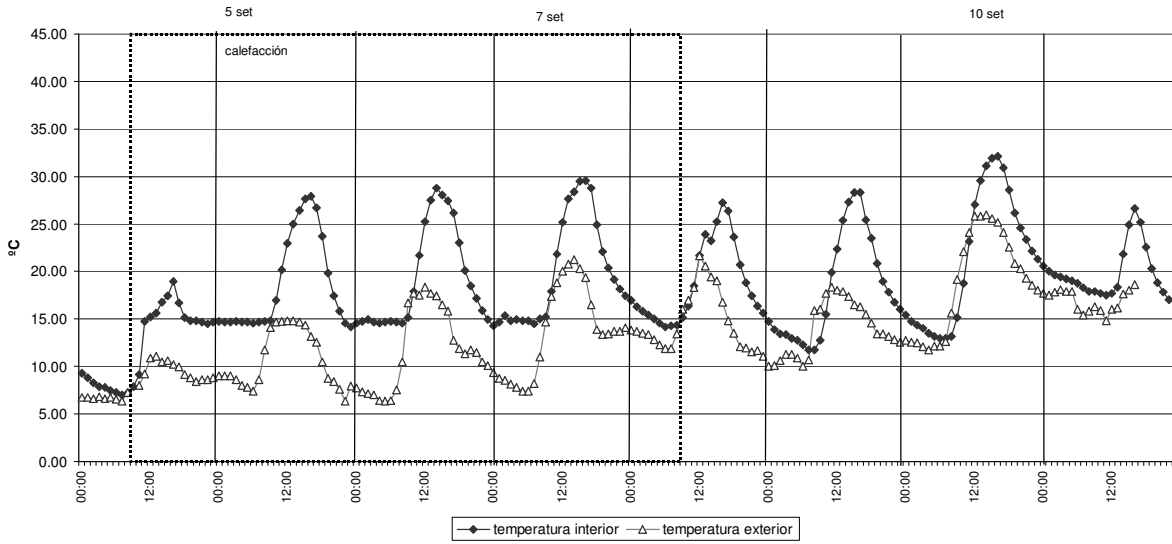


Fig 3.36. Distribución de las temperaturas horarias de la semana: 38 del 4/9 al 8/9 con C+M

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i	HR e
04-Sep-06	12.18	8.40	3.77	11.92	4.77	51.23	68.11
05-Sep-06	18.59	10.70	7.89	13.73	8.53	38.87	59.96
06-Sep-06	19.15	11.83	7.32	14.24	12.06	31.17	50.45
07-Sep-06	19.98	13.65	6.32	15.32	13.81	39.39	66.09
08-Sep-06	18.63	14.66	3.97	13.04	10.04	48.98	72.96
09-Sep-06							
10-Sep-06							
11-Sep-06							
				<b>13.65</b>	<b>9.84</b>		
				Ai/Ae =	1.39		

Fig 3.37. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia C+M

**Masa (M)**

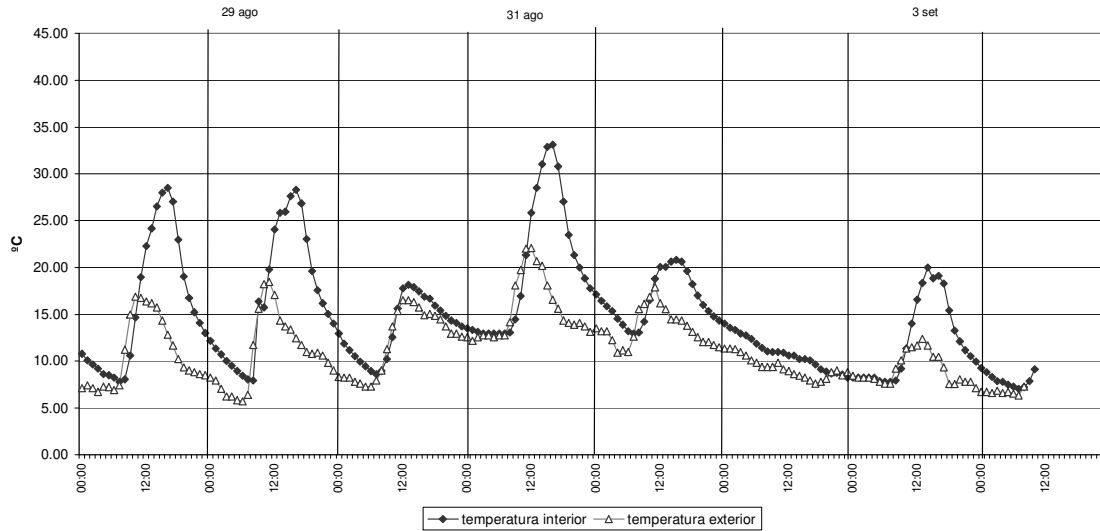


Fig 3.38. Distribución de las temperaturas horarias de la semana: 37 del 28/8 al 4/9 con M

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i	HR e
28-Ago-06	15.95	10.79	5.17	20.68	10.13	44.34	66.31
29-Ago-06	16.80	10.94	5.86	20.38	12.76	48.48	74.43
30-Ago-06	13.51	12.03	1.48	9.52	9.15	52.39	65.87
31-Ago-06	20.05	15.47	4.58	20.17	9.93	50.25	69.38
01-Sep-06	16.65	13.59	3.06	7.89	7.01	56.28	82.42
02-Sep-06	10.83	9.32	1.51	5.46	3.75	77.14	92.58
03-Sep-06	12.12	9.10	3.02	12.17	4.83	61.04	72.79
04-Sep-06							
				<b>13.75</b>	<b>8.22</b>		
				Ai/Ae =	1.67		

Fig 3.39. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia de M

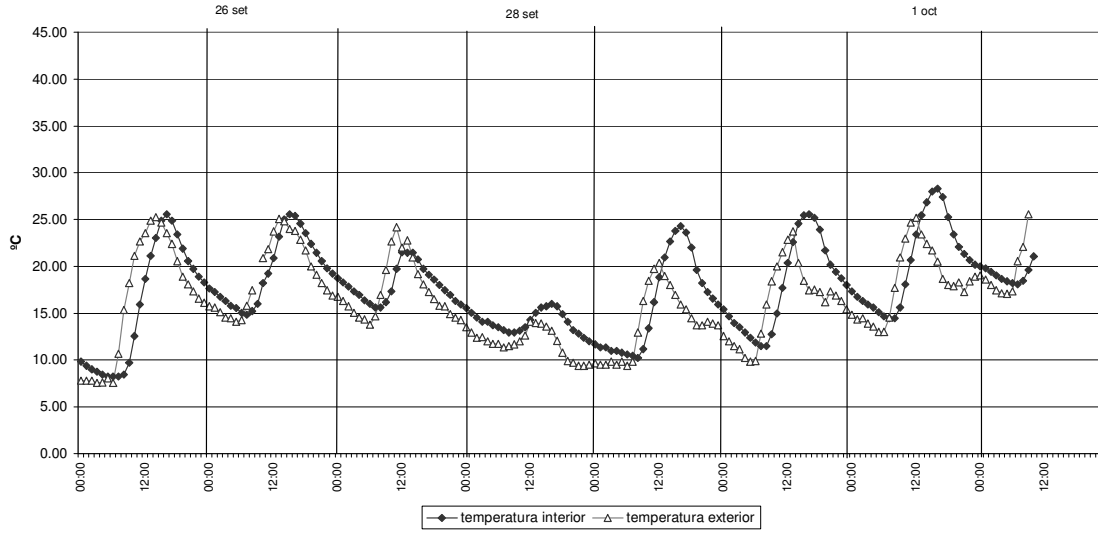
**Masa y protección (M+P)**

Fig 3.40. Distribución de las temperaturas horarias de la semana: 41 del 25/9 al 02/10 con M+P

Fecha	Ti	Te	$\Delta t (T_i - T_e)$	Ai	Ae	HR i	HR e
25-Sep-06	15.74	15.48	0.26	17.33	17.74	53.37	51.92
26-Sep-06	19.55	19.02	0.53	10.71	10.99	44.14	45.70
27-Sep-06	18.04	17.36	0.69	5.90	10.41	55.33	64.94
28-Sep-06	14.08	11.89	2.19	4.04	4.67	63.13	74.54
29-Sep-06	15.96	13.90	2.06	14.09	10.96	54.68	70.34
30-Sep-06	17.87	16.06	1.81	14.08	13.90	55.22	66.26
01-Oct-06	20.31	18.28	2.03	13.84	12.15	56.63	71.36
02-Oct-06							
				<b>11.43</b>	<b>11.55</b>		
				Ai/Ae =	0.99		

Fig 3.41. Tabla resumen de las temperaturas medias diarias exteriores e interiores para la estrategia M+P

**3.3.2. Horas de confort interior y exterior**

Para ambos períodos, frío y caluroso, se adoptaron valores límite de temperaturas y humedades definidas como “confort” y se determinó en qué porcentaje de horas se cumplía con este rango. El rango de temperaturas se define entre 20 y 25°C, ampliado de 18°C a 25 °C para invierno y de 20 a 27 °C para verano y el de humedad relativa de 40 a 70% (Chauvie, 2006) para actividad sedentaria y velocidad de 0.1 m/s.

El período caluroso estudiado presentó mayor cantidad de horas de confort que el calculado para el año típico de Montevideo (Picción y Milicua, 2006), aunque sus temperaturas medias fueron similares. Asimismo el período frío medido presentó mayores horas de confort que el año típico pero las temperaturas medias fueron superiores a las normales climáticas.

Tanto en el ambiente interior como en el exterior el porcentaje de horas de confort es alto; en el exterior el mayor porcentaje de desconfort es por frío mientras que en el interior se eleva significativamente el correspondiente a desconfort por calor.

El concepto de confort aplicado es una aproximación ya que sólo se trabajó con un rango de temperaturas y humedades, dejando de lado las posibles acciones que el usuario puede desarrollar en los ambientes donde habita, pero es un primer dato; es decir que se excluye del análisis el posible confort adaptativo.

Se desglosó para cada estrategia las horas de confort por frío y por calor, de acuerdo al rango antes mencionado (ver figura 2.3).

Total registros: 2535  
 Período aprox: enero, abril, mayo, julio

INTERIOR				EXTERIOR			
Temp.	20.87	%	confort	Temp.	22.37	%	confort
	79.13	%	disconfort		77.63	%	disconfort
	57.00	%	disct por frio		72.35	%	disct por frio
	43.00	%	disc por calor		27.65	%	disc por calor
HR	76.25	%	confort	HR	58.86	%	confort
	23.75	%	disconfort		41.14	%	disconfort



Fig 3.42. Tabla resumen de horas de confort para FL

Total : 71  
 Período aprox: fines de diciembre

INTERIOR				EXTERIOR			
Temp.	26.76	%	confort	Temp.	54.93	%	confort
	73.24	%	disconfort		45.07	%	disconfort
	59.62	%	disct por frio		100.00	%	disct por frio
	40.38	%	disc por calor		0.00	%	disc por calor
HR	88.73	%	confort	HR	100.00	%	confort
	11.27	%	disconfort		0.00	%	disconfort

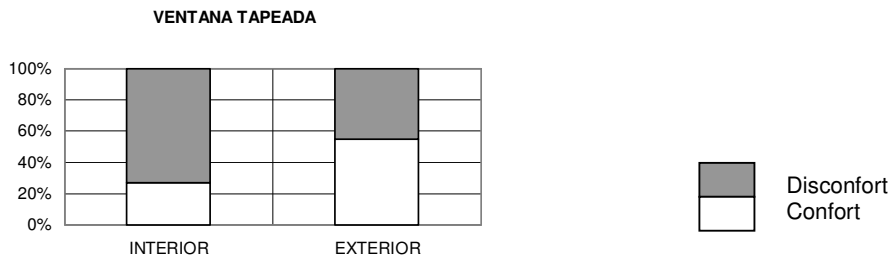


Fig 3.43.b Tabla resumen de horas de confort para VT

Total registros: 166  
 Período aprox: fines de diciembre

INTERIOR			EXTERIOR		
Temp.	46.39 %	confort	Temp.	63.25 %	confort
	53.61 %	disconfort		36.75 %	disconfort
HR	2.41 %	disct por frio	HR	6.56 %	disct por frio
	97.59 %	disc por calor		93.44 %	disc por calor
HR	90.96 %	confort	HR	91.57 %	confort
	9.04 %	disconfort		8.43 %	disconfort

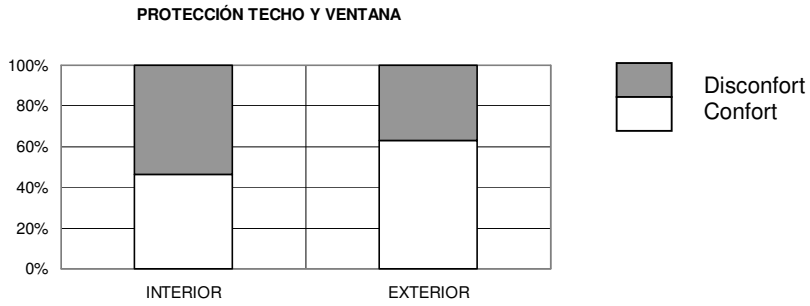


Fig 3.43. Tabla resumen de horas de confort para PTV

Total registros: 144  
 Período aprox: principios de enero

INTERIOR			EXTERIOR		
Temp.	47.92 %	confort	Temp.	67.36 %	confort
	52.08 %	disconfort		32.64 %	disconfort
HR	14.67 %	disct por frio	HR	21.28 %	disct por frio
	85.33 %	disc por calor		78.72 %	disc por calor
HR	91.67 %	confort	HR	86.11 %	confort
	8.33 %	disconfort		13.89 %	disconfort

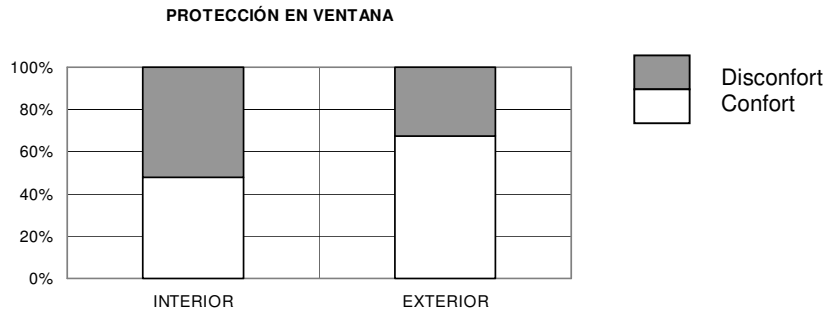


Fig 3.44. Tabla resumen de horas de confort para PV

ESTRATEGIA: VENTILACIÓN DIURNA

Total registros: 438  
 Período aprox: principios de enero, fines de abril

INTERIOR		EXTERIOR	
Temp.	48.17 % confort	Temp.	57.08 % confort
	51.83 % discomfort		42.92 % discomfort
HR	44.93 % discpt por frio	HR	70.21 % discpt por frio
	55.07 % disc por calor		29.79 % disc por calor
HR	72.15 % confort	HR	58.45 % confort
	27.85 % discomfort		41.55 % discomfort

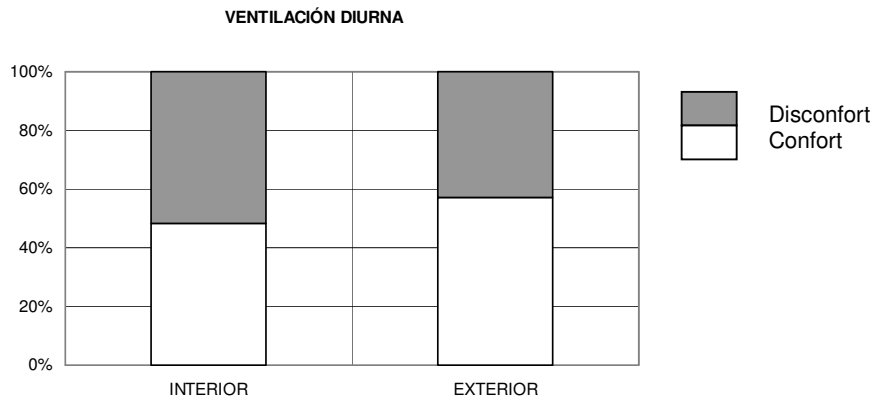


Fig 3.44b. Tabla resumen de horas de confort para VD

**ESTRATEGIA: VENTILACIÓN NOCTURNA**

Total registros: 166  
 Período aprox: fines de enero

INTERIOR		EXTERIOR	
Temp.	44.58 % confort	Temp.	77.11 % confort
	55.42 % disconfort		22.89 % disconfort
	30.43 % disct por frio		60.53 % disct por frio
	69.57 % disc por calor		39.47 % disc por calor
HR	82.53 % confort	HR	82.53 % confort
	17.47 % disconfort		17.47 % disconfort

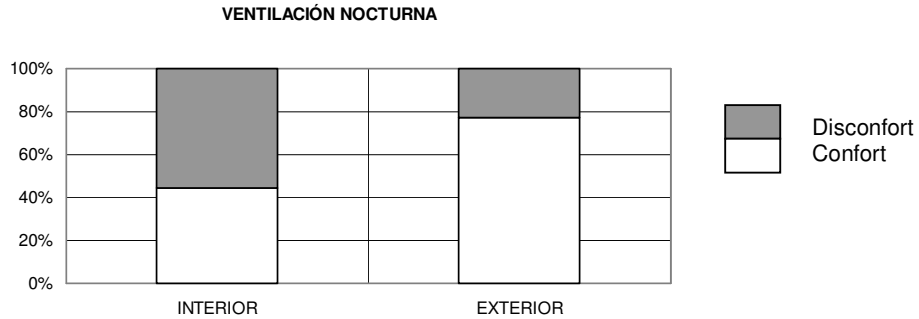


Fig 3.45. Tabla resumen de horas de confort para VN

Total registros: 66  
 Período aprox: principios de febrero

INTERIOR		EXTERIOR	
Temp.	46.97 % confort	Temp.	57.58 % confort
	53.03 % disconfort		42.42 % disconfort
	34.29 % disct por frio		50.00 % disct por frio
	65.71 % disc por calor		50.00 % disc por calor
HR	100.00 % confort	HR	86.36 % confort
	0.00 % disconfort		13.64 % disconfort

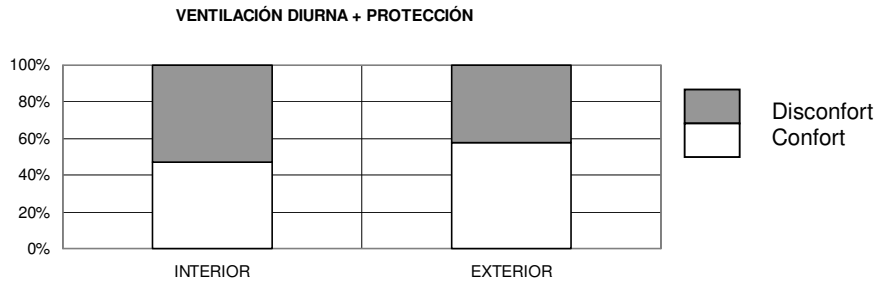


Fig 3.46. Tabla resumen de horas de confort para VD+P



Total registros: 1688  
 Período aprox: fines agosto, noviembre, principios diciembre

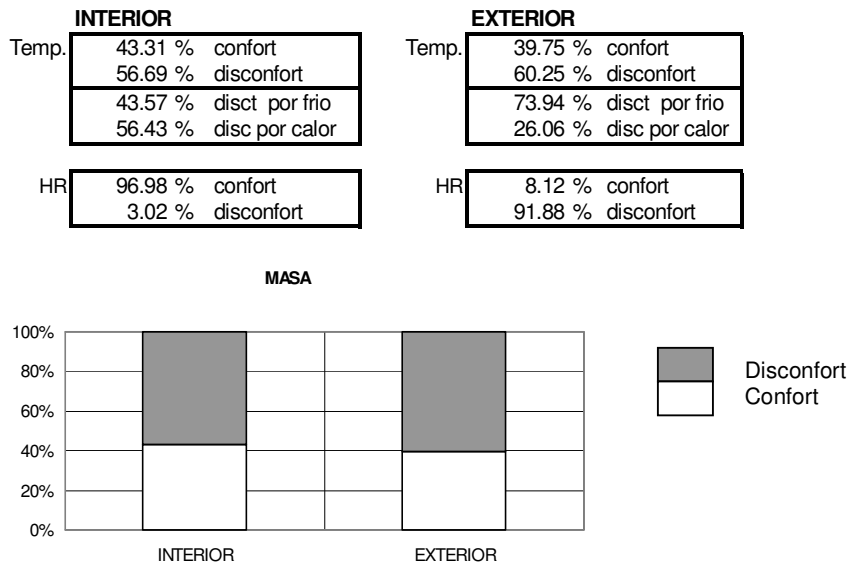


Fig 3.47. Tabla resumen de horas de confort para M

Total registros: 1438  
 Período aprox: fines febrero, marzo, setiembre, principios octubre

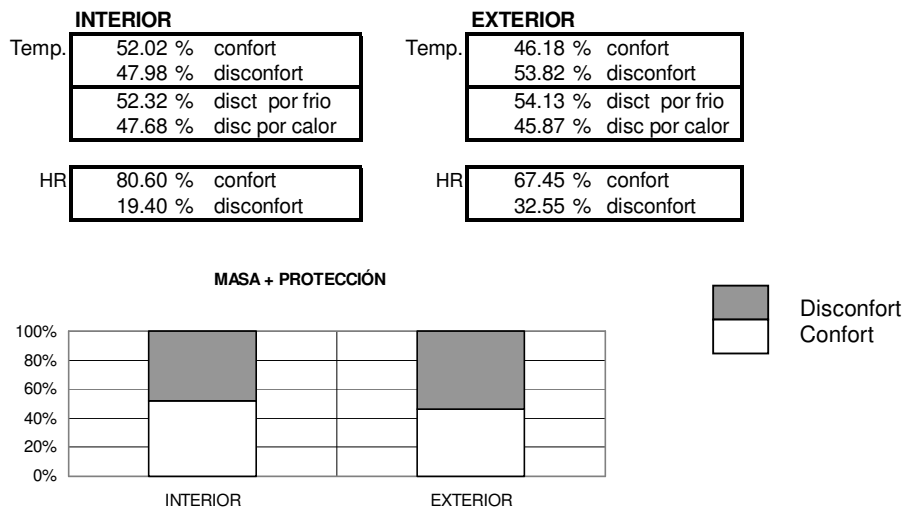


Fig 3.48. Tabla resumen de horas de confort para M+P

Total registros: 252  
 Período aprox: principios marzo, fines diciembre

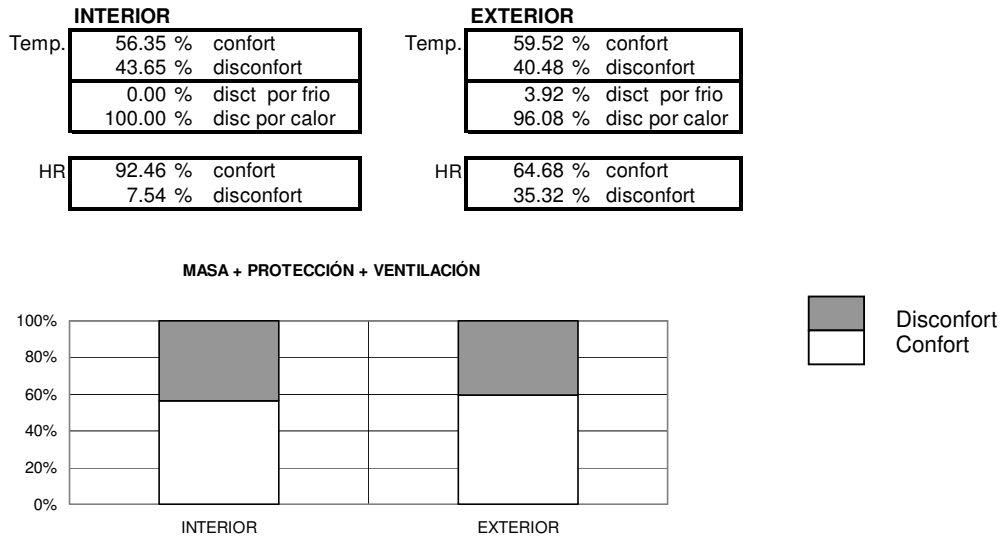


Fig 3.49. Tabla resumen de horas de confort para M+P+V

Total registros: 99  
 Período aprox: fines julio

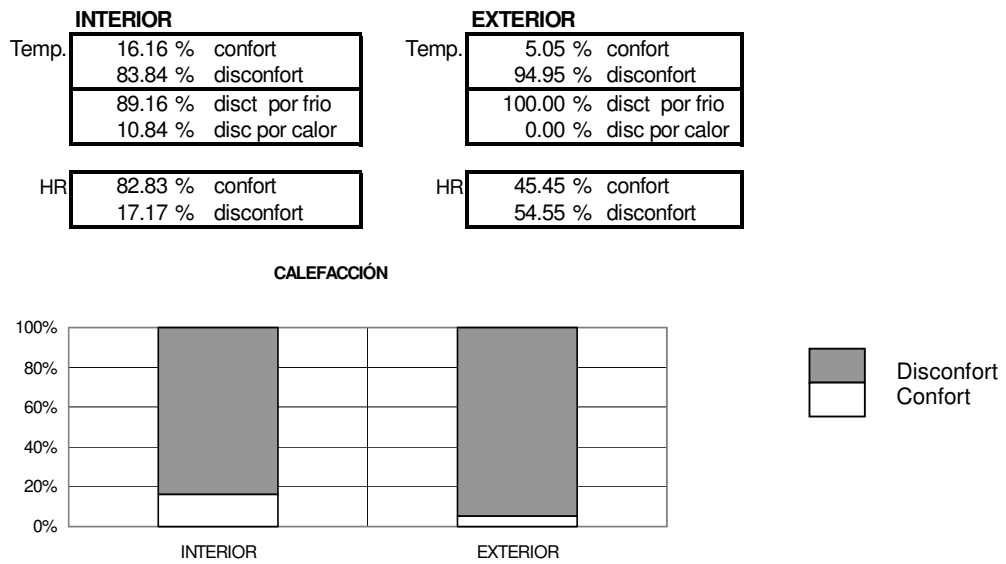


Fig 3.50. Tabla resumen de horas de confort para C

Total registros: 183  
 Período aprox: agosto

INTERIOR		EXTERIOR	
Temp.	15.30 % confort	2.19 % confort	
	84.70 % disconfort	97.81 % disconfort	
	100.00 % disct por frio	100.00 % disct por frio	
	0.00 % disc por calor	0.00 % disc por calor	
HR	92.35 % confort	62.30 % confort	
	7.65 % disconfort	37.70 % disconfort	



Fig 3.51. Tabla resumen de horas de confort para C+VT

Total registros: 187  
 Período aprox: principios setiembre

INTERIOR		EXTERIOR	
Temp.	23.53 % confort	14.97 % confort	
	76.47 % disconfort	85.03 % disconfort	
	76.22 % disct por frio	100.00 % disct por frio	
	23.78 % disc por calor	0.00 % disc por calor	
HR	100.00 % confort	78.61 % confort	
	0.00 % disconfort	21.39 % disconfort	

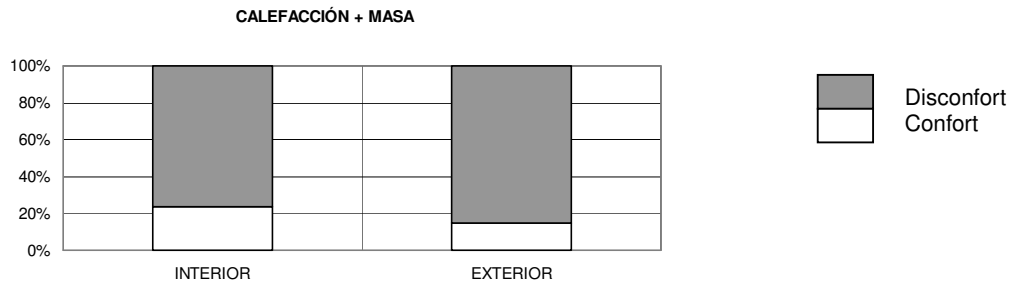


Fig 3.52. Tabla resumen de horas de confort para C+M

**3.3.3. Consumo de energía eléctrica para el periodo frío**

Durante el período frío se diseñó un dispositivo para registrar consumo de energía eléctrica en un wattmetro. Cuando la termocupla registraba mediciones inferiores a los 18°C de temperatura interior se encendía el calovehilitador con una apreciación de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Debido a problemas con el sensor efectivamente el dispositivo cortó a los 16°C. A partir de estos registros se diseñó la siguiente tabla.

día	Tem	Horas de func.	Consumo kwh /hfunc por día	Consumo/hora
26/07/06	15.70	24	0.72	0.03
27/07/06	17.78	24	0.72	0.03
28/07/06	12.96	10	0.30	0.03
31/07/06	8.34	24	3.36	0.14
01/08/06	7.08	24	3.36	0.14
02/08/06	7.60	17	4.00	0.11
04/08/06	11.27	7	0.60	0.09
09/08/06	12.37	7	0.30	0.04
10/08/06	11.17	6	0.60	0.10
11/08/06	11.09	17	1.70	0.10
15/08/06	10.52	14	1.40	0.10
16/08/06	10.05	24	2.40	0.10
17/08/06	10.85	24	4.00	0.17
18/08/06	11.01	6	0.90	0.15
21/08/06	8.67	13	1.95	0.15
22/08/06	12.56	18	2.67	0.15
04/09/06	8.4	13	1.26	0.10
05/09/06	10.7	24	2.32	0.10
06/09/06	11.83	24	2.32	0.10
07/09/06	13.65	24	2.32	0.10
08/09/06	14.66	6	0.58	0.10
11/09/06	15.93	6	0.30	0.05
12/09/06	15.03	24	0.89	0.04
13/09/06	10.95	24	0.96	0.04
14/09/06	10.95	24	0.96	0.04
15/09/06	15.61	6	0.24	0.04
<b>Totales</b>		<b>434</b>	<b>41.13</b>	<b>2.33</b>

promedio KWH día 2.27                      promedio KWH 0.09

Fig 3.53. Tabla de distribución de consumo de energía eléctrica según horas de funcionamiento

De la Tabla se observa que el promedio de consumo por día es de 2.27 KWH. El calovehilitador tiene un consumo de 800 W; es decir un promedio de **3 horas** de funcionamiento.

Si consideramos solo días consecutivos de funcionamiento el promedio de consumo horario decrece a 0.08 KWh día ver Tabla (3.54. a). Este comportamiento obedece a la historia de flujos térmicos del prototipo, debido a las dificultades que tiene el prototipo para perder calor y a la facilidad para sobrecalentarse una vez que se somete a la radiación exterior.

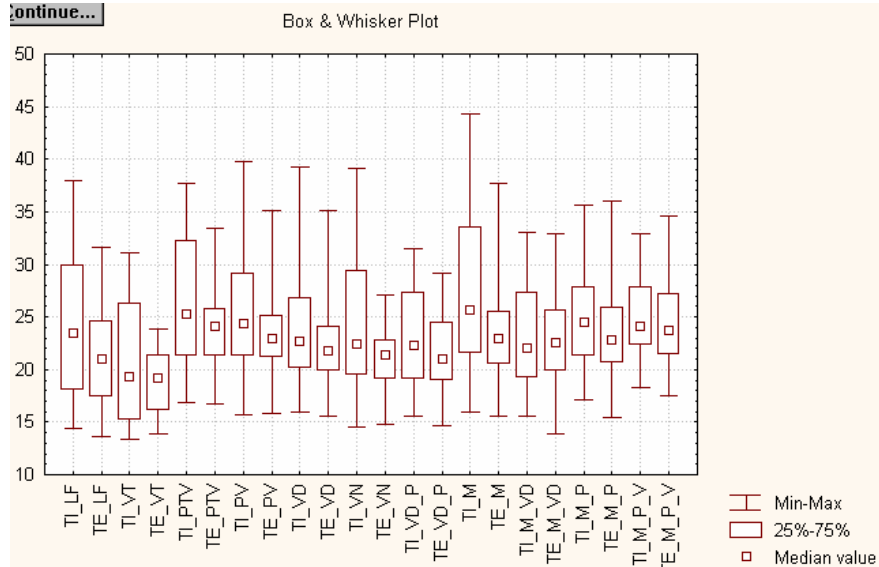
día	Tem	Horas de func.	Consumo kwh /hfunc por día	Consumo/hora
26/07/06	15.70	24	0.72	0.03
27/07/06	17.78	24	0.72	0.03
28/07/06	12.96	10	0.30	0.03
	<i>subTotales</i>	<i>58</i>	<i>1.74</i>	<i>0.10</i>
15/08/06	10.52	14	1.40	0.10
16/08/06	10.05	24	2.40	0.10
17/08/06	10.85	24	4.00	0.17
18/08/06	11.01	6	0.90	0.15
	<i>Subtotales</i>	<i>68.00</i>	<i>8.70</i>	<i>0.52</i>
04/09/06	8.4	13	1.26	0.10
05/09/06	10.7	24	2.32	0.10
06/09/06	11.83	24	2.32	0.10
07/09/06	13.65	24	2.32	0.10
08/09/06	14.66	6	0.58	0.10
	<i>Subtotales</i>	<i>91.00</i>	<i>8.80</i>	<i>0.48</i>
11/09/06	15.93	6	0.30	0.05
12/09/06	15.03	24	0.89	0.04
13/09/06	10.95	24	0.96	0.04
14/09/06	10.95	24	0.96	0.04
15/09/06	15.61	6	0.24	0.04
	<i>Subtotales</i>	<i>84.00</i>	<i>3.35</i>	<i>0.21</i>
	<b>Promedio gral</b>	<b>75.25</b>	<b>5.65</b>	<b>0.08</b>

Fig 3.54.a. Tabla de distribución de consumo de energía eléctrica según días consecutivos de funcionamiento

### 3.4. Verificación de la variabilidad de los datos

#### Período caluroso

Las variables registradas son continuas, ya que pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo especificado de valores asumidos. Primeramente se realizó un análisis exploratorio de datos utilizando estadística descriptiva. Se elaboraron los boxplot de las temperaturas exteriores e interiores de cada uno de los tratamientos. La temperatura interior es una variable dependiente de la temperatura exterior y de acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación se analizará con detenimiento los valores de temperatura interior que presentan las distintas estrategias. Como lo muestra la estadística descriptiva los datos son muy variables.



Cuadro de referencias

TI-E1	Temperatura interior con libre fluctuaciones	Ti - FL
TE-E1	Temperatura exterior con libre fluctuaciones	Te - FL
TI-E2	Temperatura interior con ventana tapeada	Ti - VT
TE-E2	Temperatura exterior con ventana tapeada	Te - VT
TI-E3	Temperatura interior con protección en techo y ventana	Ti - PTV
TE-E3	Temperatura exterior con protección en techo y ventana	Te - PTV
TI-E4	Temperatura interior con protección en ventana	Ti - PV
TE-E4	Temperatura exterior con protección en ventana	Te - PV
TI-E5	Temperatura interior con ventilación diurna	Ti - VD
TE-E5	Temperatura exterior con ventilación diurna	Te - VD
TI-E6	Temperatura interior con ventilación nocturna	Ti - VN
TE-E6	Temperatura exterior con ventilación nocturna	Te - VN
	Temperatura interior con ventilación y protección	Ti - V+P
	Temperatura exterior con ventilación y protección	Te - V+P
TI-E7	Temperatura interior con masa	Ti - M
TE-E7	Temperatura exterior con masa	Te - M
TI-E8	Temperatura interior con masa y ventilación diurna	Ti - M+V
TE-E8	Temperatura exterior con masa y ventilación diurna	Te - M+V
TI-E9	Temperatura interior con protección en ventana	Ti - M+P
TE-E9	Temperatura exterior con protección en ventana	Te - M+P
TI-E10	Temperatura interior con masa, protección en ventana y ventilación diurna	Ti - M+P+V
TE-E10	Temperatura exterior con masa, protección en ventana y ventilación diurna	Te - M+P+V

Fig 3.54.b. Cuadro de Boxplots de los datos de las distintas estrategias para el período caluroso

## Capítulo 3:

	N (número de datos)	Media	Confid. -95.000%	Confid. +95.000%	Mediana	Suma	Mínimo	Máximo	Más bajo cuartil	Más alto cuartil	Quartile Rango	Desviación estandar
TI FL	92	24.40	22.95	25.84	23.53	2,244.74	14.47	37.95	18.03	29.97	11.95	6.98
TE FL	92	21.31	20.34	22.28	20.95	1,960.47	13.61	31.63	17.38	24.64	7.26	4.68
TI VT	71	20.53	19.20	21.86	19.33	1,457.79	13.32	31.12	15.14	26.34	11.21	5.61
TE VT	71	18.78	18.06	19.49	19.23	1,333.26	13.90	23.82	16.10	21.43	5.33	3.01
TI PTV	166	26.58	25.66	27.51	25.22	4,412.41	16.86	37.66	21.24	32.25	11.01	6.04
TE PTV	166	23.93	23.38	24.47	24.06	3,971.91	16.76	33.49	21.24	25.76	4.52	3.56
TI PV	144	25.52	24.57	26.48	24.35	3,675.53	15.72	39.79	21.24	29.20	7.97	5.77
TE PV	144	23.37	22.74	24.00	22.96	3,365.51	15.81	35.17	21.09	25.13	4.03	3.83
TI VD	247	23.89	23.28	24.51	22.67	5,901.85	16.00	39.22	20.10	26.83	6.73	4.89
TE VD	247	22.48	22.00	22.95	21.81	5,551.69	15.62	35.06	19.81	24.11	4.30	3.81
TI VN	166	24.44	23.43	25.45	22.43	4,056.93	14.57	39.11	19.42	29.40	9.98	6.59
TE VN	166	21.14	20.72	21.56	21.38	3,509.47	14.85	27.13	19.04	22.86	3.82	2.72
TI VD P	66	23.03	21.86	24.19	22.32	1,519.82	15.62	31.47	19.12	27.30	8.18	4.73
TE VD P	66	21.61	20.68	22.53	20.95	1,425.95	14.66	29.10	18.95	24.50	5.55	3.76
TI M	258	27.34	26.45	28.24	25.71	7,054.50	16.00	44.28	21.52	33.59	12.07	7.29
TE M	261	23.67	23.12	24.23	22.96	6,178.73	15.62	37.77	20.48	25.56	5.09	4.58
TI M VD	107	23.17	22.27	24.07	22.10	2,479.25	15.62	33.07	19.14	27.30	8.16	4.70
TE M VD	248	22.85	22.38	23.33	22.58	5,667.64	13.90	32.97	19.90	25.61	5.71	3.79
TI M P	330	25.06	24.57	25.55	24.55	8,269.15	17.14	35.59	21.33	27.91	6.58	4.53
TE M P	330	23.42	22.98	23.86	22.86	7,728.76	15.43	36.04	20.57	25.95	5.38	4.06
TI M P V	252	24.97	24.53	25.40	24.16	6,291.56	18.28	32.86	22.29	27.81	5.53	3.52
TE M P V	252	24.34	23.88	24.80	23.68	6,133.36	17.52	34.65	21.38	27.22	5.84	3.74

Fig 3.55. Descriptores estadísticos de posición de los datos

Como puede verse en los boxplots y en los descriptores de posición, los datos de temperatura interior (TI) de las estrategias FL, VT, PTV, PV, VN, M y M+VD (figura 3.54 b y 3.55 tienen distribución asimétrica, esta situación nos permitiría inferir que no presentan normalidad en los datos ni tampoco homogeneidad de varianzas aunque para determinar exactamente esto se sometieron a los test estadísticos. En la estrategia FL y M, observamos outliers superiores a la mayoría de los datos. Del análisis de los descriptores de posición (fig 3.55) y de las frecuencias de ocurrencias se puede inferir que los datos presentan gran variabilidad, por lo que un tratamiento directo de los datos nos llevaría a extraer conclusiones poco robustas.

**Período frío**

Los boxplots que corresponden a las estrategias del período frío presentan menor variabilidad para la mayoría de las estrategias en comparación a los del período caluroso. Pero estos son asimétricos; es decir poco homogéneos en sus valores de temperaturas interiores en las siguientes estrategias: C+M; Ti\_M; Ti\_C y Ti\_FL (fig 3.56 a).

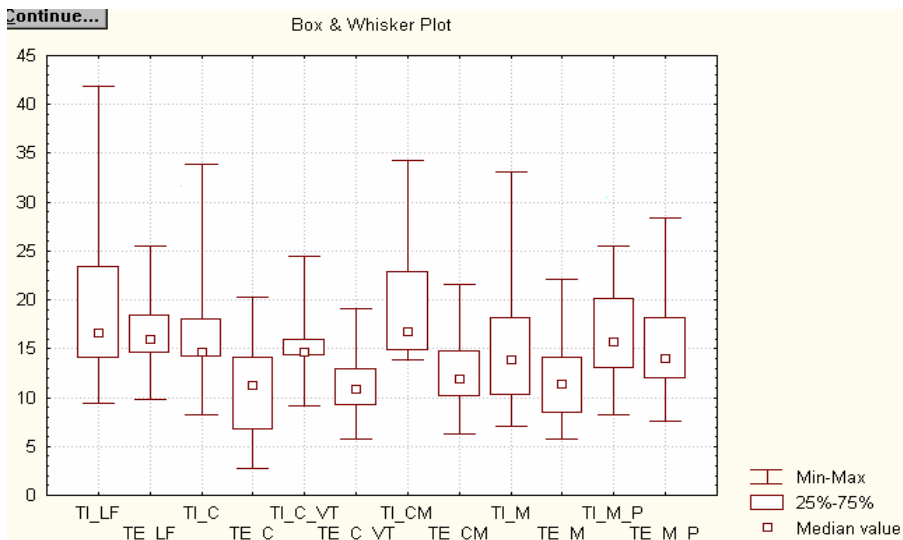


Fig 3.56a. Cuadro de Boxplots de los datos de las distintas estrategias para el período frío

Cuadro de referencias período frío

TI-E1	Temperatura interior con libre fluctuaciones	Ti - FL
TE-E1	Temperatura exterior con libre fluctuaciones	Te - FL
TI-E2	Temperatura interior con calefacción	Ti - C
TE-E2	Temperatura exterior con calefacción	Te - C
TI-E3	Temperatura interior con calefacción y ventana tapeada	Ti - C+VT
TE-E3	Temperatura exterior con calefacción y ventana tapeada	Te - C+VT
TI-E4	Temperatura interior con protección en ventana	Ti - PV
TE-E4	Temperatura exterior con protección en ventana	Te - PV
TI-E5	Temperatura interior con ventilación diurna	Ti - VD
TE-E5	Temperatura exterior con ventilación diurna	Te-VD
TI-E6	Temperatura interior con ventilación nocturna	Ti - VN
TE-E6	Temperatura exterior con ventilación nocturna	Te-VN

Fig 3.56b. Referencias para el cuadro de Boxplots de los datos de las distintas estrategias para el período caluroso

	N (número de datos)	Media	Confid. -95.000%	Confid. +95.000%	Mediana	Suma	Mínimo	Máximo	Más bajo cuartil	Más alto cuartil	Quartile Rango
TI_FL	167	22.33	21.08	23.58	19.42	3,729.12	10.31	44.28	16.95	26.16	33.97
TE_FL	167	18.38	17.81	18.95	18.38	3,069.75	10.21	27.22	15.23	20.29	17.01
TI_C	99	16.80	15.81	17.79	14.66	1,663.25	8.23	33.91	14.09	18.09	25.68
TE_C	99	10.49	9.55	11.43	11.28	1,038.91	2.78	20.28	6.73	14.19	17.50
TI_C_VT	86	15.69	15.17	16.21	14.76	1,349.62	9.62	22.29	14.57	16.09	12.67
TE_C_VT	86	10.73	10.27	11.18	9.62	922.39	7.93	15.72	9.03	12.45	7.79
TI_M_C	109	18.68	17.76	19.61	16.38	2,036.53	14.18	29.60	14.76	22.10	15.42
TE_M_C	109	12.34	11.58	13.10	11.87	1,345.29	6.32	21.62	8.73	14.76	15.30
TI_M	64	18.66	16.90	20.41	17.27	1,194.11	7.93	33.10	12.98	25.01	25.17
TE_M	64	13.05	12.05	14.05	12.74	835.24	5.71	22.09	10.41	15.67	16.39
TI_M_P	325	17.12	16.62	17.61	16.76	5,563.04	8.23	28.31	13.80	20.19	20.08
TE_M_P	325	15.83	15.34	16.33	15.72	5,145.39	7.53	28.41	12.65	18.47	20.88

Fig 3.57. Descriptores estadísticos de posición de los datos

Los métodos paramétricos estadísticos a utilizar para analizar los objetivos son : 1- ANVA (análisis de varianza) que analiza si todas las estrategias o tratamientos son iguales.

2-REGRESIÓN, a partir de la temperatura interior (variable dependiente de la exterior) se propondrá un modelo que explique el funcionamiento de la estrategia bioclimática.

Para utilizar esta estadística paramétrica se debieron probar los cuatro supuestos básicos: **1-normalidad, 2- homogeneidad de varianza; 3-aleatoriedad y 4-independencia.** Los supuestos 3 y 4 se cumplen a través del diseño experimental expuesto anteriormente.

Se probó a continuación la **normalidad de los datos**. Se toma como hipótesis nula ( $H_0$ ) que los datos de las distintas estrategias tienen una distribución normal y una hipótesis alternativa que supone que los datos no son normales. Se fija el nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ). Se utiliza la prueba de Normalidad de Lilliefors, ya que trabajamos con datos de muestras en que desconocemos los parámetros de las mismas y presentan varios valores, que utiliza el estadístico  $D_{\max}$  (distancia máxima) de Kolmogorov-Smirnov. El estadístico  $D_{\max}$  representa la máxima discrepancia, en vertical, entre la función de distribución empírica y la función de distribución de la normal ajustada (esto es, de la normal con media y varianza estimadas). La distribución de este estadístico fue tabulada por Lilliefors (contraste K-S-L) y, por tanto, es con respecto a esta tabulación que se debe juzgar la significación del valor obtenido para este estadístico. El criterio de decisión para rechazar la  $H_0$  es el siguiente: los valores de  $D_n$  tabulados deberían ser menores a los calculados, según la fig 3.58 y 3.59 (filas con flecha) sólo en dos tratamientos los datos serían normales (TE-VT [TE\_E2] y TI-M+P+V [TI\_10]), es decir que en la mayoría de los casos el valor pertenece a la región crítica, por lo tanto los datos no son normales.



Kolmogorov Sminorv -Lilliefor para muestras mayores a 30

Fórmula según tabla para valores de N mayores a 30;  $D_n = 0,886/(\text{raiz}(N))$ 

Ho= distribución normal alfa=0,05

Ha= rechazar Ho

	N	$D_n =  Fn(x) - F(x) $	Dcalculada	p=	Lilliefors p=
TI_E1	92	0,0924	0,11995	menor 0,15	menor 0,01
TE_E1	92	0,0924	0,10211	mayor 0,20	menor 0,05
TI_E2	69	0,1067	0,13066	menor 0,2	menor 0,01
TE_E2	69	0,1067	0,0897	mayor 0,20	menor 0,20
TI_E3	165	0,0690	0,11402	menor 0,05	menor 0,01
TE_E3	165	0,0690	0,0794	mayor 0,2	menor 0,05
TI_E4	191	0,0641	0,0794	menor 0,05	menor 0,01
TE_E4	191	0,0641	0,08131	menor 0,20	menor 0,01
TI_E5	143	0,0741	0,11166	menor 0,1	menor 0,01
TE_E5	143	0,0741	0,10492	menor 0,1	menor 0,01
TI_E6	95	0,0909	0,13506	menor 0,1	menor 0,01
TE_E6	95	0,0909	0,07595	mayor 0,2	menor 0,2
TI_E7	252	0,0558	0,10993	menor 0,01	menor 0,01
TE_E7	252	0,0558	0,09277	menor 0,05	menor 0,01
TI_E8	103	0,0873	0,14527	menor 0,05	menor 0,01
TE_E8	103	0,0873	0,09569	mayor 0,20	menor 0,05
TI_E9	324	0,0492	0,09225	menor 0,01	menor 0,01
TE_E9	324	0,0492	0,07857	menor 0,05	menor 0,01
TI_E10	148	0,0728	0,05716	mayor 0,20	mayor 0,20
TE_E10	148	0,0728	0,08375	mayor 0,20	menor 0,05

Fig 3.58. Valores de  $D_{m\acute{a}x}$  para los datos de las distintas estrategias del período caluroso.

Kolmogorov Sminorv - Lilliefor para muestras mayores de 30

Fórmula según tabla para valores de N mayores 30;  $D_n = 0,886/(\text{raiz}(N))$ 

Ho=distribución normal alfa=0.05

Ha= rechazar Ho

	N	$D_n$	Dcalculada	p=	Lilliefors p=
Ti - LF	330	0.05	0.18	menor 0.1	menor 0.01
Te - LF	330	0.05	0.09	menor 0.5	menor 0.01
Ti - C	99	0.09	0.22	menor 0.1	menor 0.01
Te - C	99	0.09	0.11	mayor 0.20	menor 0.01
Ti - C+VT	183	0.07	0.29	menor 0.10	menor 0.01
Te - C+VT	183	0.07	0.10	menor 0.5	menor 0.01
Ti - C+M	187	0.06	0.18	menor 0.10	menor 0.01
Te - C+M	187	0.06	0.11	menor 0.5	menor 0.01
Ti - M	169	0.07	0.96	menor 0.10	menor 0.01
Te - M	169	0.07	0.10	menor 0.10	menor 0.01
Ti - M+P	158	0.07	0.09	menor a 0.20	menor 0.01
Te - M+P	158	0.07	0.11	menor 0.5	menor 0.01

Fig 3.59. Valores de  $D_{m\acute{a}x}$  para los datos de las distintas estrategias del período frío

Para trabajar con estadística paramétrica y hacer comparables los datos se debería transformarlos. Se verifica ahora la **homogeneidad de varianzas**. Se toma como hipótesis nula que los datos de las distintas estrategias tienen igualdad de varianzas y una hipótesis alternativa que supone la no igualdad. Realizando el Test de Levene (fig 3.69 y 3.70) llegamos a la conclusión que no se puede aceptar al 5% la hipótesis nula de que las varianzas son las mismas a lo largo de las distintas estrategias.

T-test for Independent Samples

Note: Variables were treated as independent samples

TablaJ (Daniels,W pág 628)

F tabla =1,83

	Levene F(1,df)	df Levene	p Levene
TE E1 vs. TI E1	20,59002042	182	1,0309E-05
TE E1 vs. TI E2	5,590231718	159	0,019268265
TE E1 vs. TI E3	17,33539089	255	4,28928E-05
TE E1 vs. TI E4	6,398928094	281	0,011965793
TE E1 vs. TI E5	21,68556644	233	5,39734E-06
TE E1 vs. TI E6	9,238063232	185	0,002713749
TE E1 vs. TI E7	35,68495633	342	5,81917E-09
TE E1 vs. TI E8	0,516614859	193	0,473158549
TE E1 vs. TI E9	7,460636247	414	0,006575917
TE E1 vs. TI E10	8,06077013	238	0,004914375
TE E2 vs. TI E1	50,70526949	159	3,49848E-11
TE E2 vs. TI E2	36,06554798	136	1,64427E-08
TE E2 vs. TI E3	55,37450423	232	1,92952E-12
TE E2 vs. TI E4	27,27225187	258	3,64218E-07
TE E2 vs. TI E5	0,65639592	210	0,418752343
TE E2 vs. TI E6	32,14221235	162	6,42055E-08
TE E2 vs. TI E7	66,013915	319	9,9412E-15
TE E2 vs. TI E8	20,99395119	170	8,88272E-06
TE E2 vs. TI E9	2,049837373	391	0,153021346
TE E2 vs. TI E10	1,24394155	215	0,265957829
TE E3 vs. TI E1	78,06983919	255	1,654E-16
TE E3 vs. TI E2	38,960432	232	2,03688E-09
TE E3 vs. TI E3	86,41852765	328	2,10144E-18
TE E3 vs. TI E4	47,412026	354	2,63261E-11
TE E3 vs. TI E5	1,5645964	306	0,211949023
TE E3 vs. TI E6	48,74229207	258	2,46518E-11
TE E3 vs. TI E7	127,8249135	415	5,0867E-26
TE E3 vs. TI E8	23,28809594	266	2,35294E-06
TE E3 vs. TI E9	2,395448654	487	0,122338398
TE E3 vs. TI E10	0,93385286	311	0,334614604
TE E4 vs. TI E1	78,20271246	281	1,04938E-16
TE E4 vs. TI E2	36,26049069	258	5,91165E-09
TE E4 vs. TI E3	87,76508081	354	8,87115E-19
TE E4 vs. TI E4	50,59977145	380	5,66802E-12
TE E4 vs. TI E5	1,126141101	332	0,2893713
TE E4 vs. TI E6	49,11745066	284	1,75621E-11
TE E4 vs. TI E7	138,9506408	441	4,54641E-28
TE E4 vs. TI E8	22,38410378	292	3,48165E-06
TE E4 vs. TI E9	2,967022402	513	0,085580857
TE E4 vs. TI E10	1,147576344	337	0,28482364
TE E5 vs. TI E1	141,1493747	233	9,19813E-26
TE E5 vs. TI E2	106,2607391	210	2,00199E-20
TE E5 vs. TI E3	169,0174433	306	0
TE E5 vs. TI E4	95,12533726	332	6,30208E-20
TE E5 vs. TI E5	6,139601976	284	0,013800284
TE E5 vs. TI E6	99,00320246	236	1,05515E-19
TE E5 vs. TI E7	189,8070273	393	0
TE E5 vs. TI E8	81,07548315	244	6,36313E-17
TE E5 vs. TI E9	30,58599507	465	5,33671E-08
TE E5 vs. TI E10	24,2862612	289	1,40081E-06
TE E7 vs. TI E1	46,8095717	342	3,62222E-11
TE E7 vs. TI E2	14,46988532	319	0,000170672
TE E7 vs. TI E3	47,3011602	415	2,24918E-11
TE E7 vs. TI E4	25,41424256	441	6,7646E-07
TE E7 vs. TI E5	10,85536895	393	0,001074506
TE E7 vs. TI E6	25,41576931	345	7,47792E-07
TE E7 vs. TI E7	102,188999	502	5,43724E-22
TE E7 vs. TI E8	5,483677584	353	0,019750335
TE E7 vs. TI E9	1,480541582	574	0,224189843
TE E7 vs. TI E10	1,783924912	398	0,182431416
TE E8 vs. TI E1	47,16074613	193	8,73395E-11
TE E8 vs. TI E2	23,52432085	170	2,77119E-06
TE E8 vs. TI E3	48,73640998	266	2,33351E-11
TE E8 vs. TI E4	23,57405202	292	1,96167E-06
TE E8 vs. TI E5	5,837644922	244	0,016421959
TE E8 vs. TI E6	27,46807232	196	4,11127E-07

3.69. Valores de F para las estrategias del período caluroso (con una flecha los valores que cumplen supuestos)

	Levene F(1,df)	df Levene	p Levene
TE FL vs. TI FL	74.7468154	332	2.31433E-16
TE C vs. TI C	0.56176058	196	0.454450366
TE C VT vs. TI C VT	0.02673565	170	0.870310804
TE M C vs. TI M C	6.66664427	216	0.010484344
TE M vs. TI M	28.8678452	126	3.61174E-07
TE M_P vs. TI M_P	0.00033687	648	0.985362163

3.70. Valores de F para las estrategias del período frío (con una flecha los valores que cumplen supuestos)

De la fig 3.69. observamos que solo en ocho casos (con flechas) no hay diferencias entre varianzas ya que F tabla es mayor al calculado. Después de probar los dos supuestos básicos se obtuvo que los datos **no siguen los supuestos básicos de homogeneidad y normalidad** por lo que se debe **transformar los datos para hacerlos comparables**.

Aplicando la Ley de Taylor ( $P = 1 - 0.5b$ , en este caso  $b = 0.9245$ , fig 3.71) se encontró que la primera transformación podría ser el logaritmo natural.

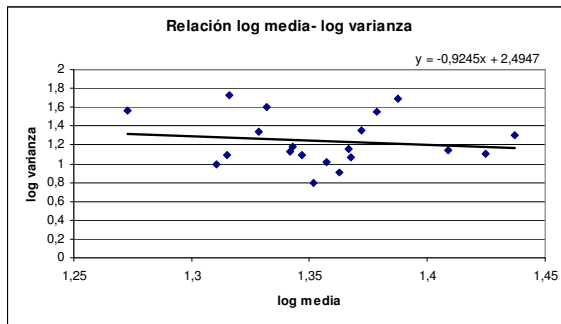


Fig 3.71. Relación entre varianza y media para determinar la mejor relación de transformación

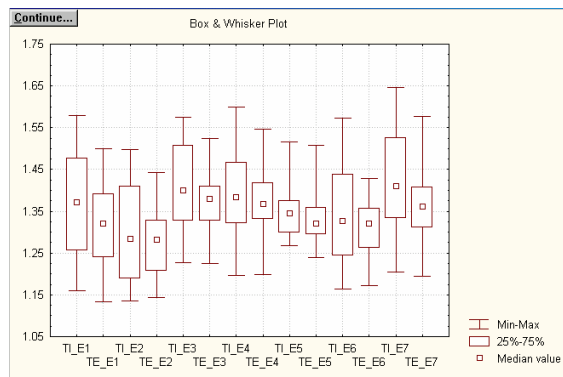


Fig 3.72. Boxplots de los datos transformados de las distintas estrategias

Se realizaron los nuevos tests de normalidad y homogeneidad de varianza para los distintos períodos, como ya mostraba el análisis exploratorio de los boxplots de los datos transformados no se aceptó la hipótesis nula (ver fig. 3.72). Se probó una segunda transformación de los datos, tomando el **valor absoluto de la resta de la temperatura interior menos la temperatura exterior**. La figura 3.73, muestra que los resultados tampoco fueron satisfactorios ya que la variabilidad continúa.

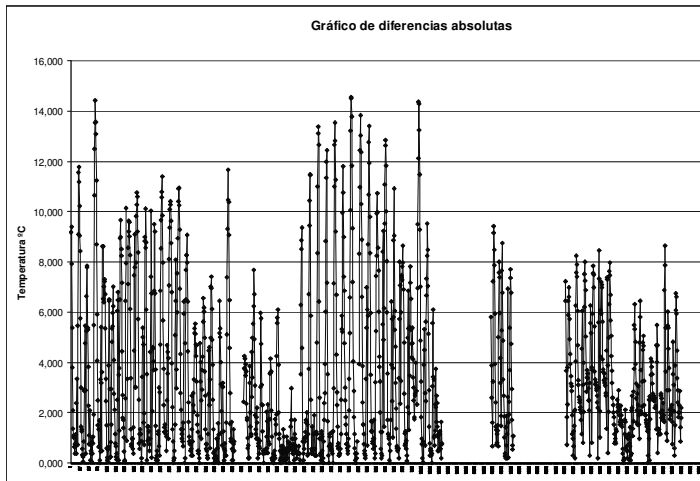


Fig 3.73. Graficación de la variabilidad utilizando la transformación de Iti-tel de las distintas estrategias

Como consecuencia de que la dos transformaciones de datos no han sido eficientes las opciones a tomar son las siguientes: 1-Análisis de covarianza; 2- Utilización de estadística no paramétrica; 3-Estudio del comportamiento del prototipo liviano no tomando todos los datos crudos. Para poder extraer algunas conclusiones se tomó esta última opción y se basó en antecedentes realizados por otros investigadores para transformar la variabilidad de los datos. La transformación consistió en tomar datos con radiación solar similar.

Una construcción con alta capacidad térmica determina un alto grado de control de las condiciones térmicas interiores sobretodo en regiones con amplitud térmica mayor a 10°C (como Montevideo) y radiación solar intensa, ya que regula no sólo las fluctuaciones de temperatura debido al calentamiento o enfriamiento sino también a la radiación que penetra a través de los cerramientos vidriados así como las ganancias o pérdidas provenientes de las infiltraciones.

El efecto cuantitativo de materiales de baja capacidad térmica y alta resistencia en la elevación de la temperatura interior y las temperaturas superficiales fue desarrollado experimentalmente en el Building Research Station, Haifa, por Givoni y Hoffmani<sup>10</sup>(ver capítulo 2, apartado 2.3). Como conclusión de esos experimentos determinaron que hay una gran variabilidad de los datos en el estudio de prototipos livianos (de baja capacidad térmica).

Para poder continuar con la evaluación de los datos se tomó tres días consecutivos con radiación solar similar, es decir tres días consecutivos tipo a o tipo b (nubosidad menor o igual a 3.5 décimas de cielo). En base a este tratamiento de los datos se logró probar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza para algunas de las estrategias (FL, PV, VD, VN, Mverano, M+P, M+P+V, C+M). Debido a la variabilidad intrínseca de los datos de las estrategias (VT, C, Minvierno, C+VT) no se ha podido extraer conclusiones únicamente con el análisis de esos datos.

A los efectos completar la evaluación de las estrategias aplicadas, incluidas las que se descartaron en el análisis estadístico, se recurre a la simulación computacional (ver capítulo 4.3 a 4.6).

Se probaron nuevamente homogeneidad de varianzas y normalidad siendo satisfactorios los resultados de estos tests para las estrategias seleccionadas. Posteriormente se desarrollo el

<sup>10</sup> Givoni y Hoffmani, Effect of materials properties on responses of building to solar radiation penetration, Research Report, Building Research Station, Haifa, 1968

método estadístico de la regresión, dejándose de la lado el método ANVA ya que se llegó a la conclusión que la regresión era el método más eficiente para comparar estrategias.

La regresión permitió establecer un modelo para la temperatura interior de cada una de las estrategias. Un método similar a partir de la fuerte correlación entre temperatura exterior e interior es utilizado por Papst<sup>11</sup>, para determinar temperaturas interiores en función de las exteriores en viviendas de alta capacidad térmica.

El análisis de los resultados de la regresión es desarrollado en el capítulo 4, apartado 4.2.

### 3.5 Aplicación de los programas de simulación al prototipo

El procedimiento básico de simulación consiste en reproducir las características de un edificio, representadas por las variables de entrada, de forma que el programa lo pueda interpretar. Se trata de variables que describen la forma geométrica del edificio, los elementos constructivos empleados y sus propiedades termofísicas y radiantes, los sistemas de iluminación y equipamientos de acondicionamiento artificial, tipo de ocupación y los horarios de uso.

Una vez ingresados estos datos al programa, el edificio puede ser simulado, previo ingreso de las variables climáticas, que pueden consistir en datos estadísticos o reales.

Los resultados obtenidos permiten evaluar el desempeño térmico de los edificios, estudiar el comportamiento higrotérmico de componentes, evoluciones horarias de flujo de calor, confort, cálculo de cargas de refrigeración y calefacción, consumo de energía, verificar si el edificio cumple con reglamentaciones vigentes y retroalimentar el diseño. (Chauvie y Picción, 2003).

Para este proyecto la aplicación de los programas de simulación es una herramienta que permite analizar el desempeño térmico, y en algunos casos energéticos de una construcción liviana en un clima como el de Montevideo.

La modelización teórica del comportamiento de las temperaturas permite prever su andamiento. Esto habilita a poder evaluar la aplicación de distintas estrategias ante una misma condición climática, es decir para un momento determinado. Así como también permite analizar anticipadamente el desempeño térmico del prototipo para una estrategia dada a lo largo de un período de tiempo prolongado (condiciones climáticas fluctuantes).

Para este proyecto se contó con un solo modelo real donde aplicar y monitorear las diferentes estrategias. El hecho de no contar con más modelos de referencia que permitiera comparar y evaluar distintas estrategias en un momento determinado, sumado a la variabilidad de las condiciones climáticas exteriores, justifican la utilización de programas de simulación y demuestran la importancia de estas herramientas computacionales para el estudio de la aplicación de posibles estrategias en espacios construidos o durante su etapa de diseño.

Si bien la utilización de programas computacionales es beneficiosa, la aplicabilidad de estos programas tiene sus condicionantes. Entre otras cosas debe haber una infraestructura informática que cuente con equipos que permitan el uso de estos programas. Dentro de los programas hay algunos más amigables que otros. En caso de programas complejos debe haber una especialización por parte del usuario.

Para que los programas “corran” se deben ingresar datos correspondientes a las variables climáticas, algunas de los valores solicitados son calculados no medidos, introduciendo incertidumbre a los resultados obtenidos.

#### 3.5.1. Programas estudiados: SETI , ARQUITROP, ARCHISUN, SIMEDIF y ENERGY PLUS

##### *Criterios de selección*

La selección de los programas computacionales utilizados se basó:

11 Papst, Ana Ligia. Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso. Santa Catarina. 2004. Tesis de doctorado

- en la disponibilidad de los programas: a excepción del Seti (programa desarrollado en el DECCA), los demás programas de simulación seleccionados son de acceso libre, la adquisición se realiza sin costo por internet, en sus respectivas páginas web.
- en los proyectos de investigación realizados anteriormente en el DECCA. En el año 2003, se culminó un proyecto de iniciación a la investigación titulado “Selección de programas de simulación para la predicción del comportamiento térmico de edificios”<sup>1</sup>, este material facilitó la selección de programas a estudiar.

### Descripción de los programas

Los programas que fueron estudiados se basan en métodos dinámicos y los modelos se dividen en dos categorías: sencillos (de simulación simple) y complejos (de simulación detallada).

Dentro de los programas de simulación simple se encuentran:

- **Seti** (Rlvero y Echevarría, 1990): es una adaptación del programa HEATCOOL cuyo autor es D.P. Bloomfield del Building Research Establishment (BRE), Inglaterra. Fue elaborado en el DECCA y se programó en lenguaje Quickbasic en entorno DOS (Chauvie y Picción, 2003) Está basado en el método de la admitancia y realiza la simulación de temperaturas interiores en un solo local para un período de 24 horas.
- **Arquitrop** (Roriz y Basso, 1996): desarrollado en la Universidad Federal de San Carlos, Brasil. Realiza la simulación de las temperaturas y de las ganancias y pérdidas térmicas de un sólo local a lo largo de 24 horas. El algoritmo utilizado para el cálculo de temperaturas horarias se basa en el método de la admitancia.
- **Archisun** (Serra et al, 1999): desarrollado en el marco del Programa Thermi-B de la comisión Europea. Realiza la simulación dinámica de las temperaturas y consumo de energía a lo largo de todo el año, según cuatro períodos considerando la ubicación, clima, entorno, usos del edificio, forma y materiales de construcción. Se basa en una adaptación de la Ley de Fourier, incluyendo algoritmos para modificar las variables de los parámetros que intervienen en la ecuación. (ver anexo III- Archisun)

Los de simulación detallada son los siguientes:

- **Simedif** (Flores Larsen et al, 2001): Desarrollado en el Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO), Universidad de Salta. Es un programa de simulación que predice el comportamiento térmico de edificios multizona durante uno o varios días, y el consumo de energía, por el método de las diferencias finitas teniendo en cuenta sistemas naturales y pasivos de acondicionamiento y ganancias internas (Chauvie y Picción, 2003)
- **Energy Plus** (Department of Energy, USA, 2000). Tiene sus raíces en otros dos programas de simulación: Blast y DOE 2. Es un programa de simulación energética para modelar el calentamiento, enfriamiento, iluminación, ventilación y otros flujos de energía. Incluye también intervalos de tiempo para análisis menores de una hora, simulación de aire acondicionado basado en múltiples zonas de flujos de aire y sistemas fotovoltaicos entre otros (Bueno et al, 2006).

El Energy Plus no estaba previsto en la formulación del proyecto de investigación debido a que no se tenía capacitación suficiente para su manejo pero dado que en el año 2006, se realizó esta capacitación con expertos de la Universidad Federal de Santa Catarina, UFSC, se incluyó como programa en este proyecto.

### 3.5.2. Protocolo de simulación

#### Estructura de los programas de simulación

En general, todo programa de simulación está conformado por tres partes: entrada de datos, simulación o modelo teórico de la realidad y salida de datos. (Chauvie y Picción, 2003)

- Entrada de datos

Para poder realizar la simulación del comportamiento térmico de un edificio, es necesario que el programa pueda reproducir el objeto de estudio, tanto sus características como su relación con el entorno.

Los datos de entrada se dividen entonces en dos, los pertenecientes al edificio y los relativos al clima exterior.

Los datos relativos al clima exterior comprenden la ubicación (latitud y longitud de la localidad) y las condiciones climáticas: valores horarios de temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento y también valores de radiación solar directa, en la mayoría de los casos, sobre un plano horizontal. Generalmente, los programas traen incorporados una base de datos de las distintas localidades en estudio. En la mayoría de los programas Montevideo no estaba incluida, por lo que se le ingresaron los datos correspondientes. Los datos ingresados manualmente a los programas fueron obtenidos de la estación meteorológica que está ubicada en el predio de Facultad de Arquitectura. En el caso de la radiación solar, los programas solicitan los valores horarios. Al no tener acceso a los registros medidos, se procedió a calcular los valores horarios a partir de la nubosidad para obtener los valores buscados.

Los datos pertenecientes al edificio comprenden los relativos a lo constructivo, al diseño y al uso. Dentro de los constructivos se ingresan los datos de las propiedades y las características de los materiales que componen la envolvente. Relativo al diseño se ingresan datos de la orientación y forma del edificio. En cuanto al uso se ingresan datos de cantidad de personas (permanencia y frecuencia dentro del edificio) y de otros aportes internos de calor (equipos, iluminación).

- Simulación

La tarea del programa consiste en estructurar los datos en función de un modelo de representación del edificio y de modelos físico-matemáticos para producir resultados a través de un modelo de cálculo. (Chauvie y Picción, 2003)

Los programas de simulación pueden agruparse en dos categorías: programas simples y programas complejos:

- Los modelos simples requieren datos de entrada más simples por lo cual son más seguros ya que los datos de entrada introducidos por el usuario, especialmente los relacionados con los elementos constructivos del edificio y condiciones climáticas pueden inevitablemente conducir a incertidumbre. Pero estos modelos son menos precisos, y no permiten predecir el comportamiento del edificio en su conjunto (generalmente simulan un sólo local), por eso son usados en las etapas primarias de diseño. Su objetivo es de dotar al proyectista de una herramienta de diseño para asistirlo en la evaluación del proyecto. Son ejemplos de esto los modelos en régimen estacionario, o los modelos de régimen variable como el método de la admitancia, entre otros.
- Los modelos dinámicos complejos son más exactos, permiten el estudio de edificios con varios locales (multizona), pero requieren usuarios preparados para ingresar muchos de los datos de entrada y coeficientes en su formato específico. Son usados fundamentalmente por investigadores sobre pautas de diseño (normas), al análisis del desempeño de edificios y sistemas pasivos (solares, muros de agua, muros trombe, etc) y al consumo de energía. Algunos ejemplos son los modelos basados en el método de las diferencias finitas, elementos finitos, eléctricos análogos.

Los modelos de cálculo se pueden basar en el régimen estacionario o en el régimen variable de temperaturas. En el caso de régimen estacionario el modelo siempre es sencillo (balance térmico tradicional), pero los modelos de régimen variable pueden ser simples (método de la admitancia y factor de respuesta) o complejos (métodos de las diferencias finitas y de los elementos finitos).

- Salida de datos

Luego de ser procesados los datos obtenidos del edificio y del clima exterior, el programa arroja los resultados de la simulación. Los datos de salida pueden ser valores horarios (o cada un período de tiempo menor) de temperaturas así como cálculo de cargas y consumo de energía de refrigeración y calefacción. No todos los programas permiten el mismo período de simulación, así como tampoco es igual la forma en que se presentan los datos de salida.

- Seti: realiza el cálculo para 24 horas, arroja valores horarios de temperatura interior del aire, temperatura del ambiente interior, estimación de confort y cargas de refrigeración y calefacción. La representación de los valores es gráfica y con una tabla anexa.

- Arquitrop: realiza la simulación para un solo local, para 24 horas de un mes determinado. Los datos obtenidos de temperatura exterior son hora a hora, temperatura interior, temperatura ambiental, temperatura superficial media, ganancias y pérdidas térmicas (según tipo de envolvente y aporte interno de haberlo), estimación de confort térmico y cálculo de potencia necesaria de calefacción o refrigeración (en función de una temperatura neutra previamente calculada). Los valores se presentan en una tabla, sino en una gráfica.

- Archisun: calcula para cuatro períodos del año valores de temperatura exterior, temperatura interior, temperatura de piel, temperatura de sensación, ganancia interna, coeficiente de ventilación, radiación directa, radiación indirecta y coeficiente de transmisión directa. Se representan en cuatro gráficas de 14 días consecutivos, una para cada estación. También calcula valores anuales de cargas de calefacción y refrigeración entre otros. No se presentan en una tabla.

- Simedif: calcula los valores hora a hora de temperatura interior de cada local del edificio, temperatura exterior y radiación solar para un período de tiempo determinado (máximo un año). No calcula potencia para calefacción o refrigeración. Los valores se presentan en una tabla y en una gráfica, pero en esta última no se representa la radiación solar.

- Energy Plus: realiza la simulación hora a hora o en intervalos menores para un período de tiempo determinado (máximo un año). Arroja valores de múltiples parámetros, siendo los más significativos para nuestro estudio: temperatura interior, temperatura superficial y potencia y consumo de los equipos de calefacción y aire acondicionado. Los valores se presentan en tablas.

Por lo visto anteriormente, no todos los programas tienen el mismo formato de presentación, pudiendo ser tablas o gráficas, como así tampoco el período simulado. Esto dificulta la comparación entre programas que arrojan los valores horarios (para un determinado día o período) o valores medios para un determinado período.

### 3.5.3. Proceso de selección de los programas a utilizar

A los efectos de poder comparar los resultados obtenidos, se realizó una primera simulación con cada uno de los programas, correspondiente al comportamiento térmico del prototipo en estudio sin ninguna estrategia aplicada, se reconoce como fluctuaciones libres.

En todos los programas se ingresaron los valores de variables climáticas exteriores los correspondientes a tres días consecutivos del período caluroso con comportamiento similar.

En cuanto a los datos de entrada correspondientes al edificio, en todos los casos se ingresaron los mismos valores de ocupación, de aportes internos y de ventilación.

Como el fin de esta primer simulación es comparar los valores simulados con los monitoreados, los datos de entrada se corresponden con la realidad del prototipo, es decir se consideró vacío y sin aportes internos de calor. En cuanto a la ventilación, se supuso igual para todas las simulaciones, con una tasa de infiltración de 0.5 Rph

Esta primer simulación permite identificar cuáles de los programas representan mejor el andamiaje de temperaturas interiores del prototipo por medio de la correlación entre los valores monitoreados y los simulados. Ver figura 3.74.



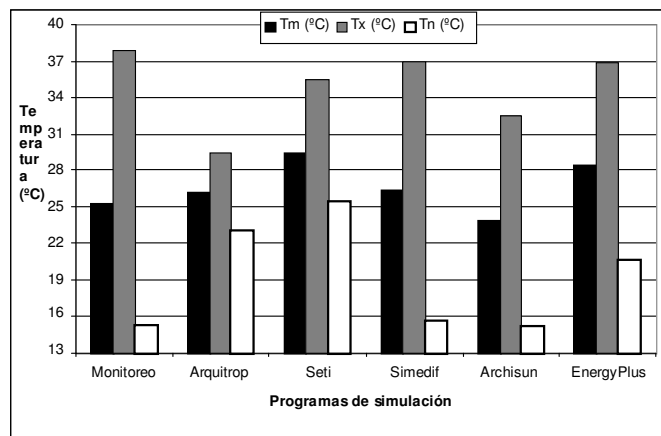


Fig 3.74. Comparación entre valores monitoreados y simulados

La correspondencia entre los datos obtenidos por simulación y por experimentación es muy importante, dando la fiabilidad necesaria al programa para la modelización de la respuesta térmica del edificio al aplicarle distintas estrategias de diseño.

La selección de los programas de simulación para posterior evaluación de las distintas estrategias aplicadas al prototipo, se basó en la mejor representatividad de cada uno con respecto a los valores monitoreados en el prototipo. Es decir, se tomaron como referencia los valores medidos in situ para la correlación de los valores obtenidos mediante simulación.

Mediante este procedimiento se detectó que de los cinco programas estudiados, son dos los que presentan mayor robustez, el Simedif y el Energy Plus, ambos de simulación detallada. Los programas de simulación simple no se ajustan al comportamiento de un prototipo liviano en un clima como el de Montevideo. Con respecto al Archisun, se debe considerar la gran incertidumbre que existe en lo que refiere a la entrada de datos (ver anexo III) por lo que si bien en las temperaturas medias se comporta relativamente se descartó debido a una serie de condicionantes que tienen el ingreso de datos y que por las características del prototipo no se cumplan (por ejemplo volumen mínimo a ser simulado).

### 3.5.4. Correlación entre los programas seleccionados y el monitoreo

#### Elección de programas a utilizar

A partir de lo antedicho se profundiza el análisis para los programas de simulación Simedif y Energy Plus. Para realizar la correlación entre los registros monitoreados y los obtenidos por ambos programas se seleccionaron quince semanas del año con distintas estrategias, abarcando dichas semanas el período caluroso y el período frío.

Las estrategias seleccionadas fueron el prototipo con: 1) Ventana tapeada (VT), 2) Protección en techo y ventana (PTV), 3) Protección en ventana (PV), 4) Ventilación nocturna (VN), 5) Ventilación diurna (VD), 6) Masa térmica y protección en ventana (M+PV), 7) Masa térmica, protección en ventana y ventilación diurna (M+PV+VD) 8) Fluctuaciones libres (FL) para el período caluroso, 9) Fluctuaciones libres para el período frío, 10) Calefacción (C), 11) Calefacción y tapiado de ventana (C+VT), 12) Masa térmica en el período frío (M), 13) Calefacción y masa térmica (M+C), 14) Masa térmica y protección en ventana en el período caluroso (M+PV), 15) Masa térmica en el período caluroso (M).

#### Correlación monitoreo - Simedif

La comparación entre los resultados del monitoreo y los de la simulación térmica con el programa Simedif se realizó tomando en cuenta las variables que se exhiben en el cuadro de la Fig. 3.75 a , 3.75 b y Fig.3.76 que para su mejor comprensión se dividió en estrategias para el período caluroso y para el período frío.

	Ventana tapeada		Protec solar techo y ventana		Protección solar		Ventilación nocturna		Ventilación diurna	
	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul
T media [Tm]	21.1	21.2	26.6	25.4	25.6	25.3	24.7	22.6	22.6	22.7
Desviación estándar	6.4	4.1	6.0	4.2	5.8	5.0	6.7	3.8	4.8	4.3
Varianza de la muestra	41.0	17.2	35.7	17.9	33.5	24.7	44.8	14.4	23.5	18.7
Rango	21.8	18.1	20.8	18.3	24.1	22.4	24.5	15.0	15.8	14.2
T mínima [Tn]	13.3	14.8	16.9	18.5	15.7	17.1	14.6	14.9	15.6	16.7
T máxima [Tx]	35.2	32.9	37.7	36.8	39.8	39.5	39.1	29.9	31.5	30.9
Cuenta	192.0	192.0	168.0	168.0	144.0	144.0	192.0	192.0	192.0	192.0
Tm monit -Tm simul	-0.1		1.2		0.2		2.0		-0.1	
Tx monit -Tx simul	2.3		0.8		0.3		9.2		0.6	
Tn monit -Tn simul	-1.5		-1.6		-1.4		-0.3		-1.1	

Fig. 3.75.a. Cuadros comparativos de temperatura monitoreada y simulada por Simedif para las distintas estrategias aplicadas en el período caluroso

	Libres fluctuaciones		Masa térmica		Masa térmica y protección solar		M térm + prot solar + ventilación	
	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul
T media [Tm]	22.6	23.5	21.4	22.9	25.0	25.4	23.4	22.4
Desviación estándar	8.3	8.2	5.2	5.0	4.3	3.7	3.7	3.1
Varianza de la muestra	69.3	66.8	27.3	25.0	18.3	13.4	13.7	9.8
Rango	32.6	31.0	22.7	21.1	16.9	14.7	14.6	12.0
T mínima [Tn]	12.2	13.3	12.2	14.0	18.7	19.2	17.1	16.4
T máxima [Tx]	44.8	44.3	34.9	35.2	35.6	33.8	31.7	28.4
Cuenta	192.0	192.0	192.0	192.0	192.0	192.0	120.0	120.0
Tm monit -Tm simul	-0.8		-1.5		-0.4		1.0	
Tx monit -Tx simul	0.5		-0.3		1.8		3.3	
Tn monit -Tn simul	-1.1		-1.9		-0.5		0.8	

Fig. 3.75.b. Cuadros comparativos de temperatura monitoreada y simulada por Simedif para las distintas estrategias aplicadas en el período caluroso

	Libres fluctuaciones		Masa térmica		Masa térmica y protección solar	
	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul
T media [Tm]	16.0	16.5	14.8	14.9	17.5	17.6
Desviación estándar	7.3	6.4	5.8	5.1	4.5	3.7
Varianza de la muestra	52.7	41.4	33.7	25.9	20.6	13.9
Rango	30.7	27.5	26.1	21.5	20.1	16.8
T mínima [Tn]	7.4	8.2	7.0	7.4	8.2	8.2
T máxima [Tx]	38.1	35.7	33.1	29.0	28.3	25.0
Cuenta	192.0	192.0	192.0	192.0	192.0	192.0
Tm monit -Tm simul	-0.5		-0.2		-0.1	
Tx monit -Tx simul	2.4		4.1		3.3	
Tn monit -Tn simul	-0.8		-0.4		0.1	

Fig. 3.76. Cuadro comparativo de temperatura monitoreada y simulada por Simedif para las distintas estrategias aplicadas en el período frío

Las cuatro estrategias que presentan mejor correlación entre el monitoreo y la simulación son: PV, M+PV, FL para el período caluroso y FL para el frío. Esto lo evidencian la proximidad entre los valores medios ya que las diferencias entre temperaturas medias monitoreadas y simuladas están comprendidas entre 0.2 y 0.8, la varianza de la muestra con una diferencia máxima de 8.8 y la desviación estándar.

Para poder analizar mejor esta correlación a continuación hablaremos de cada una de las cuatro estrategias con más detalle.

### Protección en ventana, PV (período caluroso)

El andamio de la temperatura interior simulada acompaña a la monitoreada, aunque no presenta retardo en horas con respecto a la temperatura exterior como sí sucede en el monitoreo (ver Fig.3.78.). La temperatura media presenta buena concordancia siendo las diferencias entre la media monitoreada y la simulada siempre inferior a 1.5°C (ver Fig. 3.79.) En la mayoría de los días la temperatura máxima interior monitoreada es superior a la simulada registrándose diferencias que van desde los 0.3 hasta 1.9°C. La temperatura máxima absoluta interior monitoreada fue de 39.8°C a las 15 horas mientras la simulada fue de 35.1°C

produciéndose dos horas antes. La amplitud térmica promedio monitoreada (15°C) es mayor en 2°C a la promedio simulada (13°C) (ver Fig.3.77.)

día	Monitoreo						Simedif					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	26.0	34.2	15	18.8	6	15.5	25.0	32.3	12	20.4	5	11.9
2	23.9	28.6	15	20.6	5	8.0	23.9	28.9	12	19.0	22	9.9
3	22.7	30.6	15	17.7	6	12.9	23.1	30.0	10	17.9	3	12.1
4	23.4	33.1	14	15.7	6	17.4	23.2	31.7	14	17.1	4	14.6
5	28.7	39.1	15	21.3	6	17.8	29.4	39.5	14	21.9	4	17.6
6	28.8	39.8	15	22.5	6	17.3	27.3	35.1	13	22.6	1	12.5

Fig.3.77. Cuadro de diferencias diarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Simedif

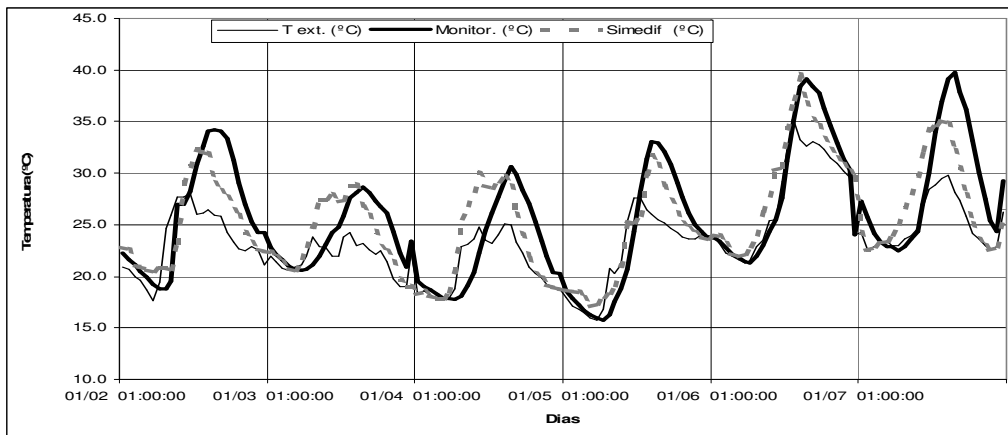


Fig.3.78. Gráfica de temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por Simedif

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	1.0	1.9	-1.7	3.6
2	0.0	-0.3	1.6	-1.9
3	-0.4	0.6	-0.2	0.8
4	0.1	1.4	-1.4	2.8
5	-0.7	-0.4	-0.6	0.2
6	1.5	4.7	-0.1	4.8

Fig. 3.79. Cuadro de diferencias horarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Simedif

### Masa y protección solar en ventana (M+PV) (período caluroso)

La temperatura interior simulada acompaña a la monitoreada salvo en el cuarto y el quinto día donde se despega tanto en la máxima temperatura como en la mínima; presenta menor retardo térmico que el monitoreo (ver Fig. 3.81). La diferencia entre la temperatura media monitoreada y la simulada es siempre menor a 2.3°C, un poco mayor que la estrategia anterior pero menor a 3°C que se considera una concordancia satisfactoria. Análogamente la temperatura máxima monitoreada es siempre mayor a la simulada, en cambio las temperaturas mínimas se asemejan bastante bien con las monitoreadas siendo siempre superiores a las exteriores. La temperatura máxima interior absoluta monitoreada fué 35.6°C a las 16 horas mientras la simulada fue de 33.6°C a las 11 horas o sea cinco horas antes y con una diferencia de 2°C. La menor temperatura interior monitoreada (18.7°C) coincide con la menor temperatura interior simulada (19.2°C) existiendo entre ambas una diferencia de 0.5°C y una hora de desfase entre ambas. El promedio de amplitudes monitoreadas (9°C) es similar al promedio de las simuladas (9.4°C) (ver Fig. 3.80 y 3.82).

día	Monitoreo						Simedif					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	28.3	35.3	16	22.9	7	12.4	26.8	33.3	12	21.0	3	12.3
2	28.5	35.6	16	22.9	7	12.7	27.9	33.6	11	23.3	4	10.3
3	28.0	34.9	16	23.0	7	11.9	27.7	33.8	12	23.2	4	10.6
4	24.9	26.3	14	23.0	22	3.4	25.7	29.8	12	22.5	23	7.3
5	20.6	22.6	23	19.4	20	3.2	22.9	27.2	11	20.4	4	6.8
6	22.8	29.1	15	18.7	5	10.4	23.7	28.5	13	19.2	4	9.3

Fig.3 80. Cuadro de diferencias diarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Simedif

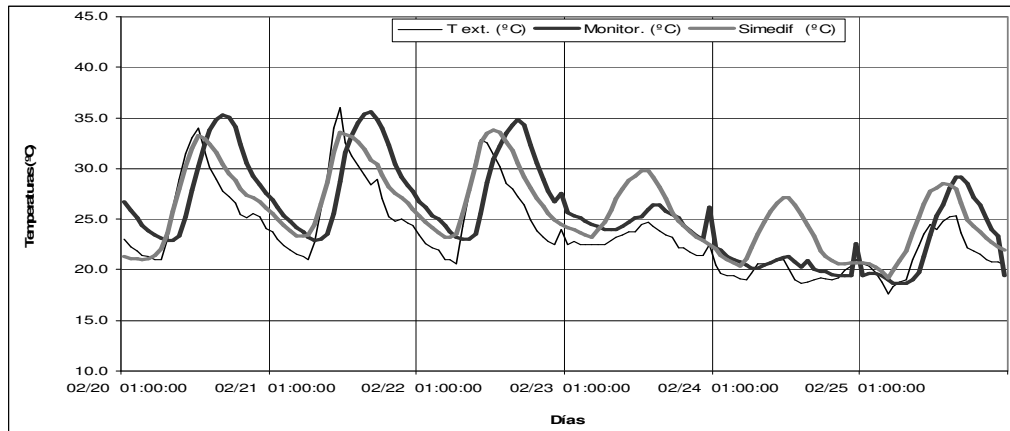


Fig.3.81. Gráfica de temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por Simedif

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	1.5	2.0	1.8	0.2
2	0.6	2.0	-0.4	2.4
3	0.3	1.0	-0.2	1.3
4	-0.9	-3.5	0.5	-3.9
5	-2.3	-4.6	-0.9	-3.7
6	-0.8	0.6	-0.5	1.1

Fig. 3.82. Cuadro de diferencias horarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Simedif

#### Fluctuaciones libres, FL (período caluroso y período frío)

El comportamiento de la temperatura interior simulada acompaña a la temperatura monitoreada logrando una gran concordancia con las temperaturas máximas, siendo levemente superior en las temperaturas mínimas que siempre coinciden con las mínimas exteriores, aunque no se aprecia retardo para las temperaturas extremas (ver Fig. 3.84.). Existe buena correlación entre las temperaturas medias monitoreadas y simuladas, las que se diferencian en menos de 0.7°C. salvo en un día. El monitoreo registró una temperatura máxima absoluta de 44.8°C a las 14 hs., mientras que la simulada fue 44.3°C a las 12 hs. o sea dos horas antes. La temperatura mínima absoluta registró un valor de 13.5°C a las 6 hs. coincidiendo con la simulada de 14.4°C producida a la 1 de la madrugada. El promedio de amplitudes térmicas para las temperaturas monitoreadas (20.9°C) es similar al promedio de amplitudes simuladas (19.9°C) presentando una diferencia de 1°C (ver Figs. 3.83 y 3.85).

día	Monitoreo						Simedif					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	26.5	44.8	14	17.2	6	27.5	26.9	42.9	12	19.1	4	23.8
2	23.8	35.3	13	17.1	5	18.1	24.5	35.9	12	18.4	4	17.5
3	26.6	44.3	14	17.5	6	26.8	27.2	44.3	12	18.4	1	25.9
4	23.7	40.5	15	16.4	4	24.1	25.9	40.4	14	16.9	6	23.5
5	19.5	25.1	15	16.8	22	8.3	20.0	25.9	11	16.4	20	9.5
6	20.5	33.9	14	13.5	6	20.4	21.1	33.7	12	14.4	1	19.3

Fig.3.83. Cuadro de diferencias diarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Simedif, período caluroso.

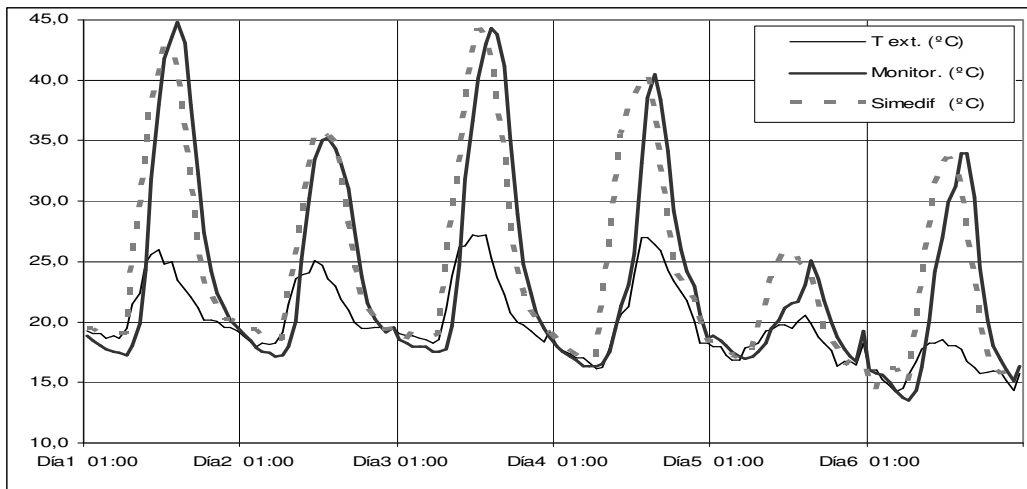


Fig.3.84. Gráfica de temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por Simedif f

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-0.4	1.9	-1.8	3.7
2	-0.7	-0.7	-1.3	0.6
3	-0.6	0.0	-0.9	0.9
4	-2.2	0.0	-0.5	0.6
5	-0.5	-0.8	0.4	-1.1
6	-0.5	0.3	-0.9	1.1

Fig. 3.85. Cuadro de diferencias horarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Simedif

Las fluctuaciones libres simuladas para el período frío siguieron el andamio de la temperatura monitoreada, con valores inferiores de temperatura máxima y superiores de temperatura mínima, no registrando retardo térmico (ver Fig. 3.87.).

Las amplitudes fueron en promedio, para las temperaturas monitoreadas 16.8°C que resultaron 2.2°C superiores a las amplitudes medias simuladas (14.3°C). La temperatura máxima absoluta monitoreada fue de 38.1°C a las 14 hs., mientras la simulada registró el valor de 35.7°C produciéndose dos horas antes. La temperatura mínima absoluta monitoreada fue de 8.1°C ocurrido a las 7 hs., mientras la simulada fue 9.3°C a las 6 hs. o sea una hora antes y con una diferencia de 1.2°C (ver Figs. 3.86 y 3.88).

día	Monitoreo						Simedif					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	13.5	24.1	15	8.6	0	15.5	14.7	21.9	13	10.1	5	11.8
2	14.1	23.1	13	8.1	7	14.9	14.4	22.7	12	9.3	6	13.4
3	18.8	38.1	14	10.5	22	27.6	18.6	35.7	12	10.1	23	25.6
4	17.3	35.7	14	8.2	6	27.5	18.3	33.8	12	10.6	55	23.2
5	14.9	23.9	13	11.0	1	12.9	16.0	21.1	14	12.3	2	8.8
6	14.3	16.0	14	13.3	1	2.7	14.3	16.0	15	13.3	3	2.7

Fig.3 86. Cuadro de diferencias diarias de temperaturas monitoreadas y simuladas con el Simedif , período frío.

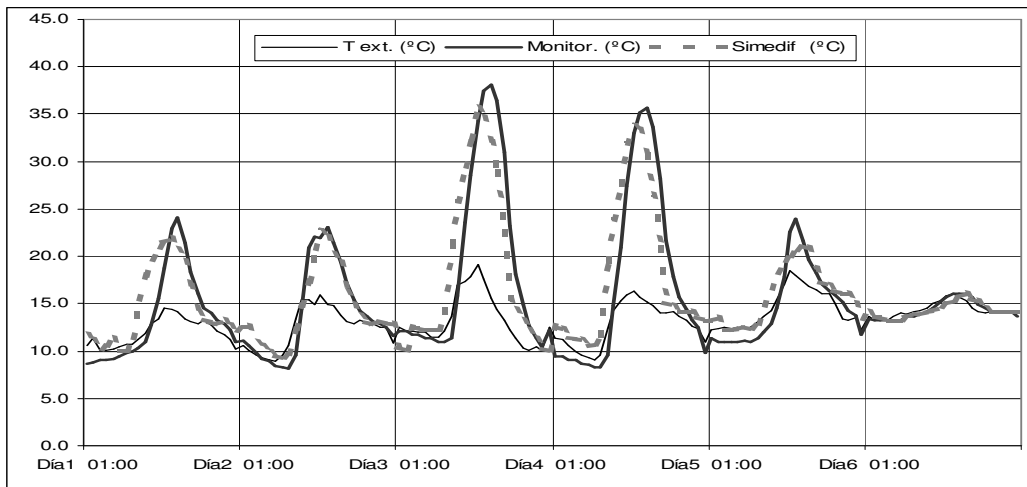


Fig.3.87. Gráfica de temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por Simedif

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-1.2	2.2	-1.5	3.7
2	-0.3	0.3	-1.2	1.5
3	0.2	2.4	0.4	2.0
4	-1.1	1.9	-2.4	4.2
5	-1.1	2.8	-1.3	4.1
6	0.0	0.0	0.0	0.0

Fig. 3.88. Cuadro de diferencias horarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Simedif

### Correlación monitoreo – Energy Plus

En los cuadros de las Fig.3.89 y Fig.3.90 se muestra la comparación entre los resultados del monitoreo y los de la simulación computacional con el programa Energy Plus, que se realizó tomando las mismas variables y los mismos períodos del año que se expusieron para el programa Simedif .

	Ventana tapeada		Protec solar techo y ventana		Protección solar		Libres fluctuaciones		Masa térmica		Masa térmica y protección solar	
	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul
T media [Tm]	21.1	20.9	26.6	26.3	25.6	26.5	22.6	24.2	21.4	21.8	25.0	29.0
Desviación estándar	6.4	2.0	6.0	4.0	5.8	4.1	8.3	5.7	5.2	3.3	4.3	2.8
Varianza de la muestra	41.2	3.9	35.7	15.6	33.7	16.7	69.6	33.0	27.4	11.0	18.4	7.8
Rango	21.8	7.3	20.8	15.6	24.1	15.3	32.6	24.5	22.7	15.1	16.9	12.1
T mínima [Tn]	13.3	17.9	16.9	19.5	15.7	19.5	12.2	14.6	12.2	15.7	18.7	23.8
T máxima [Tx]	35.2	25.2	37.7	35.1	39.8	34.8	44.8	39.2	34.9	30.8	35.6	36.0
Cuenta	191.0	191.0	167.0	167.0	143.0	143.0	191.0	191.0	191.0	191.0	191.0	191.0
Tm monit -Tm simul	0.2		0.4		-0.9		-1.6		-0.4		-3.9	
Tx monit -Tx simul	9.9		2.5		4.9		5.6		4.0		-0.4	
Tn monit -Tn simul	-4.6		-2.6		-3.8		-2.5		-3.6		-5.2	

Fig. 3.89. Cuadros comparativo de temperatura monitoreada y simulada por Energy Plus para las distintas estrategias para el período caluroso

	Libres fluctuaciones		Masa térmica		Masa térmica y protección solar	
	T monit	T simul	T monit	T simul	T monit	T simul
T media [Tm]	16.1	18.4	14.8	15.8	17.5	19.7
Desviación estándar	7.3	5.8	5.8	3.0	4.5	3.2
Varianza de la muestra	52.7	33.2	33.8	9.1	20.3	10.1
Rango	30.7	23.4	26.1	12.2	20.1	12.4
T mínima [Tn]	7.4	10.6	7.0	11.6	8.2	14.2
T máxima [Tx]	38.1	34.0	33.1	23.8	28.3	26.6
Cuenta	191.0	191.0	191.0	191.0	191.0	191.0
Tm monit -Tm simul	-2.4		-1.0		-2.2	
Tx monit -Tx simul	4.1		9.3		1.7	
Tn monit -Tn simul	-3.2		-4.6		-5.9	

Fig. 3.90 Cuadro comparativo de temperatura monitoreada y simuladas por Energy Plus para las distintas estrategias para el período frío

Analizando las mismas estrategias que seleccionamos para el Simedif notamos que la correlación en el caso del Energy Plus es mucho menor. Las diferencias entre los valores medios van de 0.9 a 3.9°C, mientras en el Simedif estaban comprendidas entre 0.2 a 0.8°C. El otro aspecto que se destaca es la diferencia importante entre las varianzas de las muestras, que para el Energy Plus llega al doble de la monitoreada mientras que en el Simedif estaban muy próximas, lo que evidencia diferencias importantes entre ambos programas de simulación.

A continuación se exponen las cuatro estrategias ya seleccionadas para realizar la correlación en detalle.

### Protección en ventana, PV (período caluroso)

El andamio de la temperatura simulada presenta mayores discordancias tanto en las temperaturas máximas, que salvo por un día son siempre inferiores a las monitoreadas, como en las mínimas que son más elevadas siempre que las monitoreadas, que siguen a las temperaturas mínimas exteriores (ver Fig. 3.92). La temperatura máxima absoluta monitoreada fue de 39.8°C y la simulada fue de 34.8°C, o sea 0.3°C menor que la máxima obtenida con el Simedif. Para la temperatura mínima absoluta la diferencia es mayor ya que la monitoreada fue de 15.7°C y la simulada de 19.9°C, por lo que la diferencia es de 4.2°C cuando con el Simedif había sido de 1.4°C. La amplitud interior promedio monitoreada (14.8°C) es mayor en 5.6°C al promedio de amplitudes simuladas (9.2°C) resultando inferior a la lograda con la simulación en el Simedif (13°C) (ver Figs. 3.91. y 3.93).

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	26.0	34.2	15	18.8	6	15.5	23.6	27.6	17	19.5	6	8.1
2	23.9	28.6	15	20.6	5	8.0	24.6	28.2	16	22.1	7	6.1
3	22.7	30.6	15	17.7	6	12.9	25.3	30.7	16	20.2	6	10.5
4	23.4	33.1	14	15.7	6	17.4	25.8	31.4	17	19.9	6	11.5
5	28.7	39.1	15	21.3	6	17.8	29.0	33.9	17	23.7	6	10.2
6	28.8	39.8	15	22.5	6	17.3	30.2	34.8	16	26.0	7	8.9

Fig. 3.91. Cuadro de diferencias diarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Energy Pus

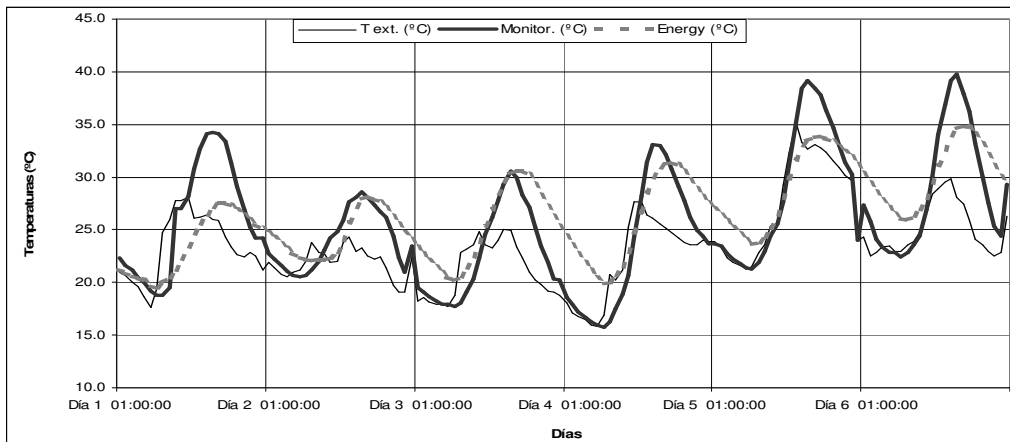


Fig.3.92 Gráfica de temperaturas horarias simuladas por Energy Plus

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	2.4	6.6	-0.8	7.4
2	-0.7	0.4	-1.5	1.9
3	-2.7	-0.1	-2.5	2.4
4	-2.4	1.7	-4.2	5.9
5	-0.3	5.2	-2.4	7.6
6	-1.4	4.9	-3.5	8.5

Fig. 3.93. Cuadro de diferencias horarias entre temperatura media, máxima, mínima simuladas

#### Masa y protección en ventana (M+PV) (período caluroso)

El comportamiento de la temperatura interior simulada no se correlaciona con la monitoreada separándose notoriamente tanto en las temperaturas máximas como en las mínimas. La amplitud promedio interior monitoreada (9°C) es superior al promedio de amplitudes simuladas (6.7°C) siendo menor que el conseguido con la misma estrategia en el Simedif (9.4°C) (ver Fig. 3.95.). La temperatura máxima absoluta monitoreada (35.6°C) producida a las 16 horas y la simulada fue de 35°C a las 15 horas, siendo superior a la lograda con el Simedif (33.6°C) y acercándose más a la monitoreada. La temperatura mínima absoluta monitoreada fue 18.7°C a las 5 horas y la temperatura mínima simulada 24.2°C a las 7 hs. significativamente superior en 5.5°C.

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	28.3	35.3	16	22.9	7	12.4	29.0	30.9	0	27.6	7	3.3
2	28.5	35.6	16	22.9	7	12.7	30.1	35.0	15	25.9	7	9.0
3	28.0	34.9	16	23.0	7	11.9	31.0	36.0	15	26.9	6	9.1
4	24.9	26.3	14	23.0	22	3.4	30.2	34.5	15	27.7	6	6.8
5	20.6	22.6	23	19.4	20	3.2	28.0	30.6	15	26.1	7	4.5
6	22.8	29.1	15	18.7	5	10.4	27.2	31.3	16	24.2	7	7.2

Fig. 3.94. Cuadro de diferencias diarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Energy Pus



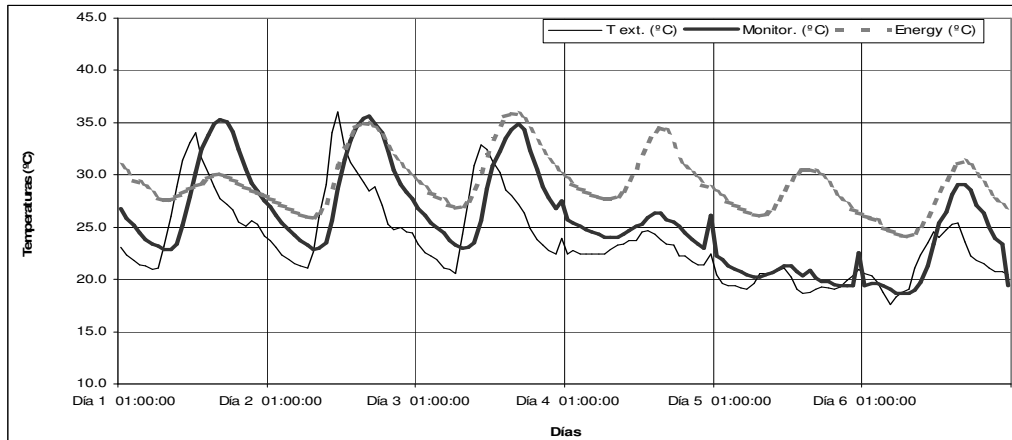


Fig. 3.95. Gráfica de temperaturas horarias simuladas por Energy Plus

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-0.7	4.4	-4.7	9.1
2	-1.5	0.6	-3.1	3.7
3	-3.0	-1.1	-4.0	2.8
4	-5.3	-8.2	-4.7	-3.5
5	-7.4	-8.0	-6.7	-1.3
6	-4.4	-2.2	-5.5	3.3

Fig. 3.96. Cuadro de diferencias horarias entre temperatura media, máxima, mínima simuladas

### Fluctuaciones libres, FL (período caluroso y período frío)

El andamiento de la temperatura interior simulada no correlaciona con la monitoreada conservando siempre su despegue tanto de las temperaturas máximas, que resultan ser inferiores al monitoreo, como en las temperaturas mínimas que son claramente superiores tanto a las monitoreadas como a las exteriores (ver Fig.3.98). El promedio de las amplitudes térmicas monitoreada (20.9°C) es 7.7°C superior al promedio de las simuladas (13.2°C). La temperatura máxima absoluta monitoreada fue 44.8°C a las 14 horas mientras que la máxima absoluta simulada fue 32.6°C una hora antes. La diferencia promedio entre temperaturas mínimas monitoreadas y simuladas es 3.6°C, siendo siempre mayor la simulada (ver Figs. 3.97 y 3.99).

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	26.5	44.8	14	17.2	6	27.5	26.2	32.6	13	21.7	7	11.0
2	23.8	35.3	13	17.1	5	18.1	28.1	39.1	16	19.5	7	19.6
3	26.6	44.3	14	17.5	5	26.8	25.1	29.2	16	21.8	8	7.4
4	23.7	40.5	15	16.4	4	24.1	28.0	39.2	16	19.2	7	20.0
5	19.5	25.1	15	16.8	22	8.3	26.9	33.8	15	21.7	7	12.1
6	20.5	33.9	14	13.5	6	20.4	20.5	25.4	15	16.2	7	9.2

Fig. 3.97. Cuadro de diferencias diarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Energy Pus para el período caluroso

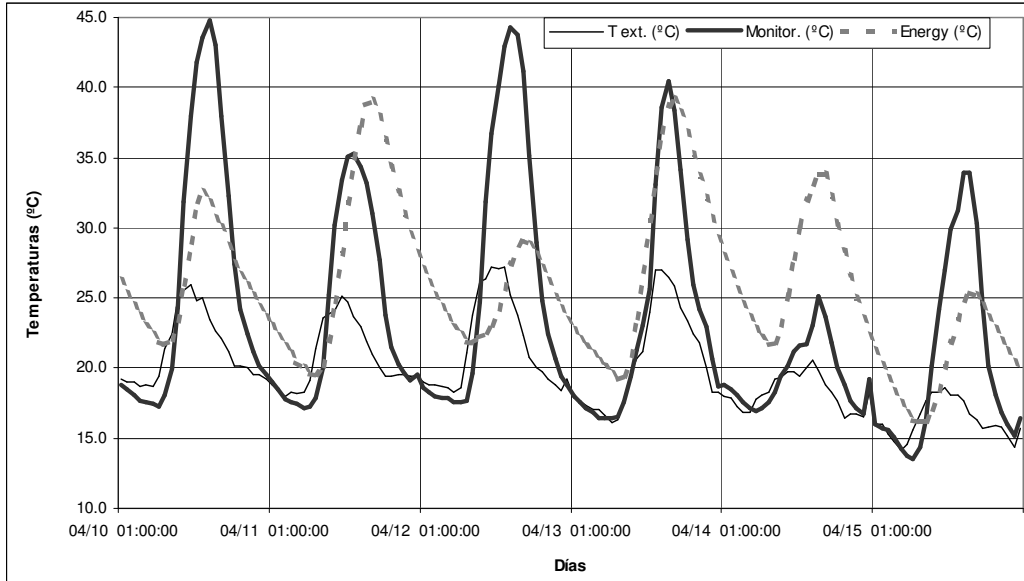


Fig. 3.98. Gráfica de temperaturas horarias simuladas por Energy Plus, para el período caluroso

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	0.3	12.2	-4.4	16.6
2	-4.3	-3.8	-2.4	-1.4
3	1.5	15.1	-4.3	19.4
4	-4.4	1.3	-2.8	4.1
5	-7.4	-8.8	-4.9	-3.8
6	0.0	8.5	-2.7	11.2

Fig. 3.99. Cuadro de diferencias horarias entre temperatura media, máxima, mínima simuladas

Análogamente la estrategia fluctuaciones libres para el período frío presenta temperaturas máximas simuladas siempre menores a las monitoreadas, en tanto las temperaturas mínimas son siempre más elevadas a las monitoreadas. El promedio de las amplitudes medias monitoreadas es 2°C superior a las simuladas (ver Fig. 3.101). La temperatura máxima absoluta monitoreada fue 38.1°C a las 14 horas o sea 5.7°C superior a la simulada (32.7°C) que se dio a las 16 horas. Las temperaturas mínimas absolutas se registran ambas a las 7 hs. siendo el registro monitoreado 8.1°C y el simulado 2°C mayor. (ver Figs. 3.100 y 3.102)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	13.5	24.1	14	8.6	0	15.5	15.4	18.2	14	12.4	8	5.8
2	14.1	23.1	13	8.1	7	14.9	17.6	25.9	16	10.6	7	15.3
3	18.8	38.1	14	10.5	22	27.6	21.5	32.7	16	13.1	7	19.6
4	17.3	35.7	14	8.2	6	27.5	15.5	19.7	0	13.4	8	6.3
5	14.9	23.9	13	11.0	1	12.9	20.4	32.0	16	11.9	6	20.2
6	14.3	16.0	14	13.3	1	2.7	23.9	34.0	16	16.1	7	17.9

Fig. 3.100. Cuadro de diferencias diarias de temperaturas monitoreadas y simuladas por Energy Plus para el período frío.

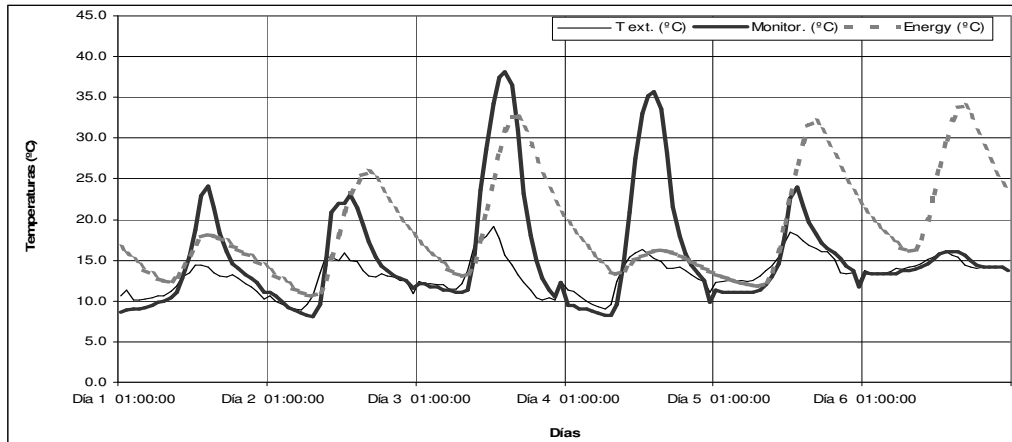


Fig. 3.101. Gráfica de temperaturas horarias simuladas por Energy Plus para el período frío

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-1.9	5.9	-3.8	9.7
2	-3.6	-2.8	-2.5	-0.4
3	-2.7	5.4	-2.6	8.0
4	1.7	16.0	-5.1	21.1
5	-5.5	-8.1	-0.9	-7.2
6	-9.5	-18.0	-2.8	-15.2

Fig. 3.102. Cuadro de diferencias horarias entre temperatura media, máxima, mínima simuladas

En una primera instancia de comparación se observó que el programa Simedif ajustó mejor el anadamiento a las temperaturas monitoreadas. Mientras que el Energy Plus presentó desviaciones importantes con respecto a los valores de temperaturas mínimas (más altas que las monitoreadas), lo que sobre representa los valores de temperatura media. (ver figura 3.101)

Vistas estas divergencias se realizaron una serie de pruebas a los efectos de detectar cuáles serían las posibles causas, si debidas al monitoreo o a la toma de decisiones en la entrada de datos. Para descartar problemas de monitoreo se volvió a tomar registros de los datos, ajustando las siguientes técnicas: mayor cantidad de sensores, sensores con distinta distribución en el espacio y distintos dispositivos para su protección frente a las radiaciones. Esta prueba no arrojó diferencias entre las distintas formas de registrar datos, por lo que se descartó su influencia en el problema planteado. Para tratar las causas debidas al propio proceso de simulación, se fueron ajustando la entrada de datos de algunas variables (de a una por vez). Las variables ajustadas fueron: radiación solar, tasa de ventilación y coeficientes de reflectancia y emisividad. El programa Energy Plus no se mostró sensible a estos cambios, ya que en los resultados de la simulación presentó el mismo comportamiento respecto a las temperaturas mínimas.

Por todas estas razones el análisis del comportamiento de las distintas estrategias a través de la simulación se realizó con el programa SIMEDIF (capítulo 4, apartados 4.3 a 4.6) .

## Resultados

---

### 4.1. Análisis de monitoreo

De la presentación de las mediciones de la temperatura interior del prototipo comparadas con las temperaturas exteriores para los dos períodos: el período caluroso y el período frío se extraen los siguientes resultados de acuerdo a cada una de las estrategias.

#### Fluctuaciones libres , FL (período frío y caluroso)

Del análisis de las fluctuaciones en el período caluroso se infiere que la temperatura interior del prototipo, con ventana y puerta cerradas, sin protección solar y desocupado, siguió el andamio de la temperatura exterior, pero con valores de temperatura máxima y amplitudes muy superiores a la exterior. No se observa retardo con respecto a la temperatura exterior (ver figura 3.8). La temperatura interior máxima absoluta fue de 45.9 °C mientras que la exterior fue de 27.2 °C.

En lo que refiere al período frío, también se observa un andamio similar de la temperatura interior respecto a la exterior, pero alcanza una temperatura máxima de 38.1 °C cuando en el exterior se registraban 19.1 °C, debido al aporte de la radiación solar. El comportamiento en las temperaturas mínimas se iguala a las temperaturas mínimas exteriores, lo que determina una amplitud interna promedio de 17 °C siendo la externa de 5.9 °C. No se observa retardo (ver figura 3.30).

Las horas de confort en el prototipo (20.87%) son menores que en el exterior (22.37%), siendo la incidencia del porcentaje de horas de disconfort por calor mayor en el interior que en el exterior (ver figura 3.42).

#### Ventana tapeada, VT (período caluroso)

La temperatura interior acompaña el andamio de la temperatura exterior, pero presenta un retardo de cinco horas con respecto al exterior. La temperatura de bulbo seco interior máxima absoluta en esta estrategia fue de 31 °C, mientras que la exterior máxima absoluta fue de 24 °C. Los registros interiores de esta variable son en su mayoría superiores a los exteriores, pero en las primeras horas de la mañana y las últimas de la noche tiene un comportamiento similar al exterior, la temperatura interior se iguala a la exterior. Recordemos que el aporte de radiación solar está impedido en esta estrategia, por lo que es razonable que esto suceda, acompañado por la baja inercia que presenta el prototipo (ver figura 3.7).

Los porcentajes de horas de confort interior (26.8%) son menores a los del exterior (54.93%) (ver figura 3.43b).

#### Protección techo y ventana, PTV (período caluroso)

El andamio de la temperatura interior acompaña a la exterior, aunque presenta un retardo de dos horas. La variabilidad de los datos es una constante en los registros de esta estrategia. La temperatura máxima absoluta interior fue de 37.6°C; mientras que la exterior fue de 33.5°C. Al igual que en las estrategias anteriores, las mínimas interiores se igualan a las exteriores siendo para esta estrategia la mínima interior y exterior absoluta de 16.8°C (ver figura 3.11).

El porcentaje de horas de disconfort interior (53.6%) es mayor que el exterior (36.8%) (ver figura 3.43).

#### Protección ventana, PV (período caluroso)

El comportamiento de la temperatura interior acompaña al exterior, pero presenta un retardo de dos horas, al igual que la protección en techo y ventana. La amplitudes medias interiores son superiores en 4.6°C, con respecto a las exteriores (ver figura 3.13). La temperatura mínima absoluta interior y exterior se igualaron en 15.8°C, mientras que la absoluta máxima interior es de 39.8°C, siendo la absoluta exterior de 35.2°C.

El porcentaje de horas de confort interior (52.08%) es menor que el exterior (67.4%) para esta estrategia y la mayoría de este porcentaje corresponde al desconfort por calor (97.6%)(ver figura 3.44).

#### **Ventilación diurna, VD (período caluroso)**

Como es lógico en esta estrategia, los registros de temperatura interior siguen el andamio exterior en los momentos en que se ventila, es decir entre las 9:00 am y las 14:00 pm (ver figura 3.15). Las amplitudes interiores y exteriores medias se igualan. La temperatura máxima absoluta interior es de 31.8°C, siendo la absoluta exterior de 32.2°C, lo que coincide con lo expresado anteriormente. Como en la mayoría de las estrategias los registros mínimos interiores y exteriores se igualan. No se observa retardo entre temperaturas interiores y exteriores.

El porcentaje de horas de confort interior es menor (48.17%), estos porcentajes difieren de los porcentajes de horas de confort exterior (57.08%)(ver figura 3.44b).

#### **Ventilación nocturna, VN (período caluroso)**

Al igual que con la ventilación diurna, la temperatura interior iguala el comportamiento de la temperatura exterior en los momentos en que se abre la ventana (desde las 18:00 pm a 9:00 am). En las primeras horas, únicamente, se observa una diferencia entre temperatura interior y temperatura exterior, es así como mientras en el interior se registró una máxima de 32.14°C, en el exterior en ese momento se registraba 22.14°C (ver figura 3.17). No se observa retardo.

El porcentaje de horas de confort interior (44.58%) es menor al porcentaje exterior (77.11%)(ver figura 3.45).

#### **Ventilación diurna y protección solar, VD+P (período caluroso)**

Los registros de temperatura de bulbo seco interiores utilizando esta estrategia que combina ventilación y protección, muestran un retardo entre las temperaturas máximas exteriores y las interiores, de aproximadamente cuatro horas. En andamio de las temperaturas acompaña al exterior. Se registra una temperatura máxima absoluta interior de 28.49°C mientras que en el exterior fue de 31.47°C. Las temperaturas mínimas igualaron los registros exteriores (ver figura 3.19). Las amplitudes medias interiores son mayores a las exteriores en casi 3°C.

Los porcentajes de horas de confort son mayores en el exterior (57.58%) que en el interior (46.97%) (ver figura 3.46).

#### **Masa, M (período frío y caluroso)**

En el período caluroso, la temperatura interior presenta un andamio similar a la temperatura exterior, pero presenta un retraso de tres horas. La temperatura máxima absoluta exterior fue de 34.96°C mientras que la interior es aproximadamente 2°C superior. Las amplitudes interiores(12.79 °C) si bien son mayores que las exteriores (10.56 °C) resultan menores con respecto a las estrategias del período caluroso anteriormente analizadas. Las temperaturas mínimas exteriores se ubican aproximadamente 2°C por debajo de las temperaturas mínimas interiores (ver figura 3.21).

En el período frío, la temperatura interior acompaña a la exterior, al igual que en el período caluroso, observándose un retardo de tres a cuatro horas. La temperatura máxima absoluta es mayor en el interior (33.10°C) que en el exterior (22.00°C). Al igual que en el período caluroso las temperaturas mínimas interiores (13.75 °C) son superiores a las mínimas exteriores (8.22°C). Las amplitudes interiores son mayores en el período frío que en el caluroso (ver figura 3.38).

El porcentaje de horas de confort en el interior es superior al exterior en un 3.6% (ver figura 3.47). Es una de las estrategias en donde se da esta situación más favorable.

#### **Masa y ventilación diurna, M+V (período caluroso)**

Esta estrategia tiene muy pocos registros horarios por lo que los resultados son muy parciales. A pesar de esto se puede observar, que al igual que con el resto de las estrategias, la temperatura interior acompaña a la temperatura exterior, produciendo un retraso de dos horas

(ver figura, 3.23). La temperatura máxima absoluta interior es de 32.02 °C, mientras que la exterior absoluta es de 25.76 °C. Las temperaturas mínimas se comportan igual que las temperaturas mínimas exteriores. Las amplitudes medias interiores son 2.44°C superiores.

#### **Masa y protección solar, M+P (período frío y caluroso)**

Los datos de temperatura de bulbo seco interior presentaron menor variabilidad que en las anteriores estrategias, incluso las amplitudes de temperatura interior (13.04 °C) fueron menores que las exteriores (13.50 °C). En el período caluroso se observa un retardo mayor en las temperaturas que en la estrategia con masa. La temperatura máxima absoluta interior registrada fue menor que la exterior en casi 2 °C, siendo ésta última de 36.24 °C (ver figura, 3.25). Las temperaturas mínimas son mayores en el interior (17.14 °C) que en el exterior (14.09 °C).

Las temperaturas interiores del período frío tienen un andamio similar a las exteriores, pero con retardo de 2 horas (ver figura, 3.40). La temperatura máxima absoluta interior es de 28.31 °C, mientras que la absoluta exterior es de 25°C. Al igual que en el período caluroso, en el frío las amplitudes medias interiores se igualan a las exteriores.

Es la estrategia que porcentualmente presenta mayores horas de confort interior (52.02%), siendo superiores a las exteriores (46.18%) (ver figura 3.48).

#### **Masa, protección y ventilación, M+P+V (período caluroso)**

La variabilidad de los datos de temperatura interior fue menor en esta estrategia, al introducir la masa térmica asociada a protección y ventilación. Las temperaturas interiores acompañan el comportamiento de las temperaturas exteriores y al igual que todas las estrategias que incorporan masa genera un retardo de dos horas mínimo (ver figura 3.27). Las amplitudes térmicas medias interiores son menores que las exteriores en casi 3°C. Las temperaturas interiores mínimas son superiores en 2°C a las exteriores. La temperatura máxima absoluta interior fue 32.86 °C y la temperatura máxima absoluta exterior 33.28°C.

El valor porcentual de horas de confort interior (56.35%) es menor que en el exterior (59.52%)(ver figura 3.49).

#### **Calefacción, C (período frío)**

Existe gran variabilidad en los datos de temperatura interior registrados para esta estrategia. Las temperaturas interiores varían su andamio con respecto a las temperaturas exteriores (ver figura, 3.32). Esto se explica por el aporte de calor interno del equipo calefactor como por la ganancia solar. Se observa las dificultades de la energía para poder disiparse, ya que a la generación de calor interno (caloventilador) se le agrega las ganancias de radiación solar debido al alto grado de aislamiento y a la baja capacidad térmica del prototipo para controlar flujos de calor en el tiempo. La temperatura máxima absoluta interior fue de 30.31 °C, mientras que la máxima absoluta exterior fue de 13.70 °C. El caloventilador estaba programado para cortar a los 18 °C pero los registros muestran que efectivamente cortó a los 15 °C.

Los registros exteriores de temperatura coinciden con las temperaturas medias del período frío por lo que se alejan del rango de confort, así es que el porcentaje de horas de confort interior (16.16%) es superior al del exterior (5.05%) (ver figura 3.50). La energía consumida para aumentar las horas de confort no se ve reflejada en los porcentajes debido al mal manejo de la energía en el prototipo liviano.4.1.2.13. Calefacción y ventana tapeada, C+VT (período frío)  
Los datos siguen mostrando variabilidad, aunque es menor que la estrategia anterior (solo calefacción) debido a que se aísla uno de los factores que provoca las mayores fluctuaciones: la radiación solar. El andamio de la temperatura interior difiere del de la temperatura exterior (ver figura 3.34). La máxima interior fue de 24 °C y la mínima fue de 9 °C, este último valor se encuentra 4 °C por encima que el exterior.

El porcentaje de horas de confort interior (15.30%) es de casi ocho veces mayor que el del exterior (2.19%) (ver figura 3.51).

#### **Calefacción y masa, C+M (período frío)**

Como en las estrategias anteriores al incorporar la utilización de calefacción en el prototipo se genera variabilidad al sistema, pero los flujos de energía en esta propuesta se ven en alguna medida controlados por la incorporación de masa. La oscilación de las temperaturas interiores es menor (ver figura 3.36). La amplitud interior media (14.86 °C) es mayor que la exterior (10.25 °C) pero la relación entre ambas es menor que con el prototipo con calefacción. Las temperaturas mínimas interiores (15 °C) se encuentra 7 °C por encima de las exteriores, pero la temperatura máxima absoluta interior registrada fue 34 °C mientras que la exterior era 24 °C. Se observa un retardo horario de dos horas.

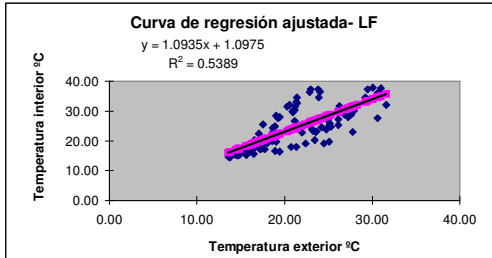
En esta estrategia el porcentaje de horas de confort interior (23.53 %) es mayor que el del exterior (14.97%) (ver figura 3.52).

## 4.2. Análisis de la evolución de la temperatura interior en el prototipo, según estrategias realizadas

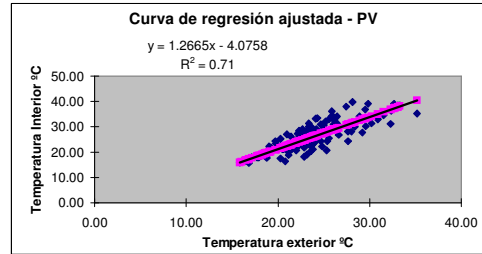
### Período caluroso

Luego de utilizada la estadística de la regresión (ver gráficos 4.1 al 4.7) para las estrategias del período caluroso se observa que existe una correlación entre la temperatura interior y la exterior y que está fuertemente influenciada por la radiación. Por ello, se tomando datos de días consecutivos similares con relación a la radiación solar, se determinó las siguientes ecuaciones de regresión:

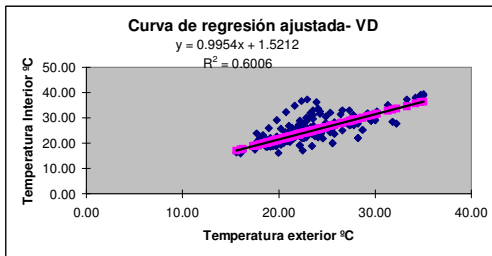
*Libre fluctuaciones*



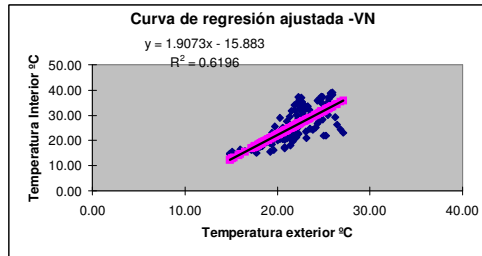
*Protección ventana*



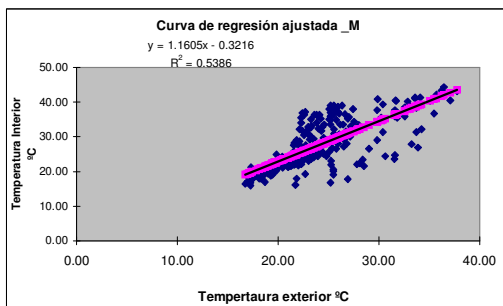
*Ventilación diurna*



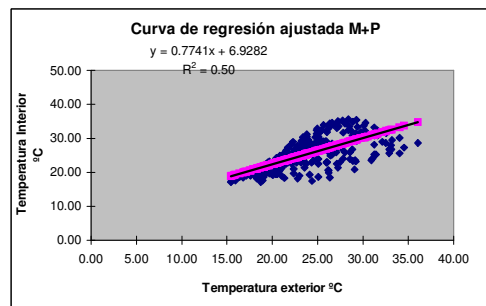
*Ventilación nocturna*



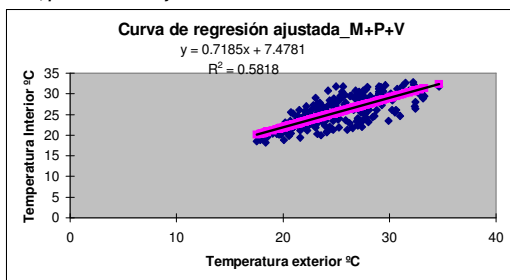
*Masa*



*Masa+protección*



*Masa, protección solar y ventilación diurna*



*Fig. 4.1 a 4.7. Correlaciones entre temperatura exterior interior para distintas estrategias en el período caluroso*



Del análisis de la regresión se pueden extraer los diversos modelos para poder evaluar cuál de las estrategias tendría un mejor desempeño térmico para determinadas condiciones exteriores. En la figura 4.7b. se presentan las distintas ecuaciones.

Estrategias verano							
	LF	M+P+V	PV	VD	VN	M	M+P
Ecuación	$T_i = -3.972 + (T_e \cdot 1.4973)$	$T_i = 7.4781 + (T_e \cdot 0.7185)$	$T_i = -4.0758 + (T_e \cdot 1.2665)$	$T_i = 1.5212 + (T_e \cdot 0.9954)$	$T_i = -15.883 + (T_e \cdot 1.9073)$	$T_i = 0.3216 + (T_e \cdot 1.1605)$	$T_i = -3.972 + (T_e \cdot 1.4973)$
Indicador de correlación	$R^2=0.60$	$R^2=0.60$	$R^2=0.71$	$R^2=0.60$	$R^2=0.62$	$R^2=0.54$	$R^2=0.5$
F calculado	105	348	342	368	267	272	304
F crítico	$8.47 \times 10^{-17}$	$3.08 \times 10^{-49}$	$1.26 \times 10^{-39}$	$9.87 \times 10^{-51}$	$2.98 \times 10^{-36}$	$5.16 \times 10^{-41}$	$1.22 \times 10^{-48}$
Exterior	Probable $T_i$						
15	18.49	18.26	15	16.45	12.73	17.09	18.54
20	25.97	21.85	21	21.43	22.26	22.89	22.41
25	33.46	25.44	28	26.41	31.80	28.69	26.28
30	40.95	29.03	34	31.38	41.34	34.49	30.15
35	48.43	32.63	40	36.36	50.87	40.30	34.02
%Horas de confort int medidas	45.65	62.50	73.61	41.67	48.17	43.31	47.22
%Horas de confort ext medidas	67.39	59.72	93.06	58.40	57.08	39.75	61.11
relación %h conf ext/%h conf int	1.48	0.96	1.26	1.40	1.18	0.92	1.29

Fig 4.7.b. Modelos de regresión para las distintas estrategias en verano

En esta ecuación la variable independiente es la temperatura exterior y la dependiente es la temperatura interior. La ecuación modelizada explicaría el 60% o más de los datos medidos para las estrategias de LF; M+P+V; PV; VD; VN, M y M+P. En todos los casos el F calculado es mayor al crítico lo que determina la existencia de una correlación.

Se puede analizar que para temperaturas exteriores inferiores a los 20 °C prácticamente no hay diferencias entre las distintas estrategias, obteniendo las temperaturas más bajas el caso de ventilación nocturna.

Pero cuando las temperaturas exteriores alcanzan valores superiores a los 25 °C se comienzan a diferenciar las estrategias, siendo la que mejor se comporta para esta situación la que combina masa, protección y ventilación, aunque no se diferencia sustancialmente de la estrategia que combina masa y protección. Las diferencias son considerables entre estas dos estrategias para temperaturas exteriores superiores a los 35 °C, siendo mejor la estrategia M+P+V. Se debe considerar que la regresión para la estrategia que combina: masa, protección y ventilación es obtenida a partir de una ventilación que se realiza en horas diurnas por lo que en varias ocasiones estaría aportando ganancias al prototipo (si la temperatura exterior es mayor que la interior). Para evaluar con mayor precisión los resultados se calculó, a partir de las ecuaciones definidas anteriormente y para las mediciones de temperatura exterior registradas durante un año, la cantidad de horas de confort para cada estrategia (suponiendo un rango de 18° a 27°C, definido en el capítulo 2).

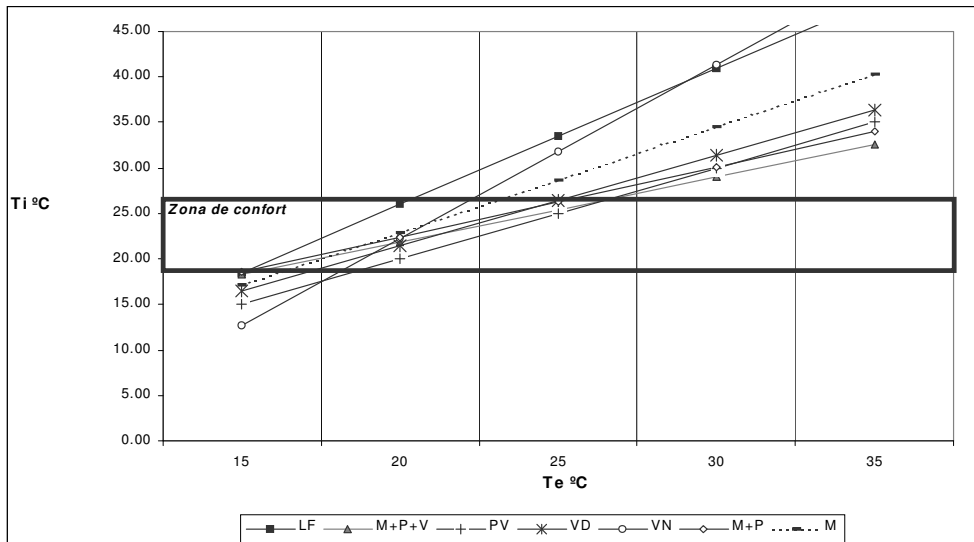


Fig. 4.8. Ecuaciones que modelizan el comportamiento de la temperatura interior utilizando distintas estrategias bioclimáticas

Se debe aclarar que el concepto de confort aplicado en esta investigación es una aproximación ya que sólo se trabajó con un rangos de temperatura y humedad, dejando de lado las posibles

acciones que el usuario puede desarrollar en los ambientes donde habita. A pesar de esto se puede utilizar como insumo para la evaluación.

El resumen de porcentajes de horas de confort muestra un mejor desempeño para la estrategia que combina masa y protección ya que las temperaturas exteriores son inferiores a los 35°C . Siendo la temperatura exterior media de 18°C, la estrategia más eficiente desde el punto de vista del confort la que combina masa y la protección que tiene un 77.8% de horas de confort, lo que determinaría un 22.2% de disconfort, siendo en su mayoría disconfort por calor.

Resumen horas de confort verano

	horas de confort	% confort
MP	2591	77.81
MPV	2245	67.42
PV	2004	60.18
M	1334	40.06
LF	1053	31.62
VD	1043	31.32
VN	1043	31.32

Total de horas registradas 3330 100.00

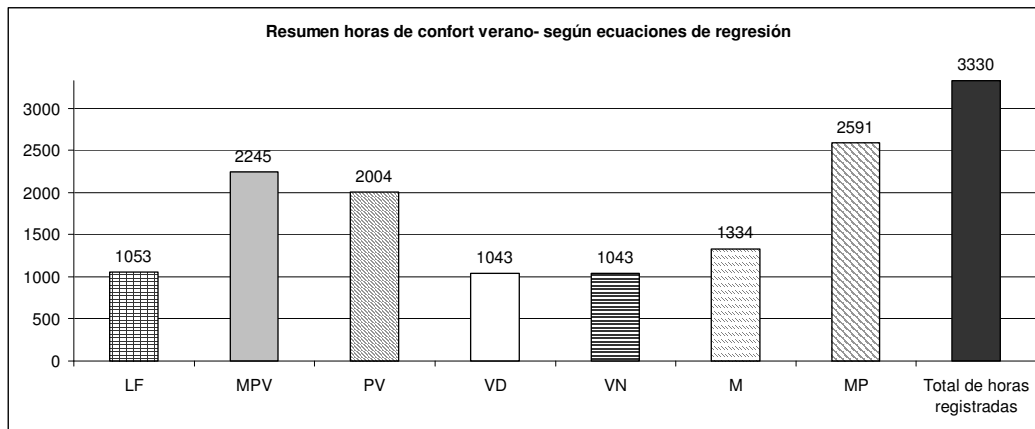


Fig. 4.9. Comparación horas de confort según cada estrategia

La determinación de los porcentajes de confort y disconfort interior de las estrategias permite saber si las temperaturas en el período caluroso están dentro o fuera de un determinado rango, pero no muestra cuánto se alejan las temperaturas interiores de los límites de confort.

Para ello se determina los grados hora de disconfort por calor y por frío (fig. 4.10). Se calculan para cada hora restando a la temperatura límite inferior de confort, que en el caso del período caluroso es 20°C, la temperatura interior resultado del estudio de la regresión. Se procede de la misma forma para los grados hora de disconfort por calor, pero tomando el límite superior de 27°C. Analizando los grados hora de refrigeración las estrategias que consumen menos energía son las que incluyen masa térmica pero protegida de la radiación solar. El prototipo en fluctuaciones libres es el caso de mayor consumo de energía para refrigeración. El posible consumo de energía de calefacción también es menor en los casos de masa térmica protegida.

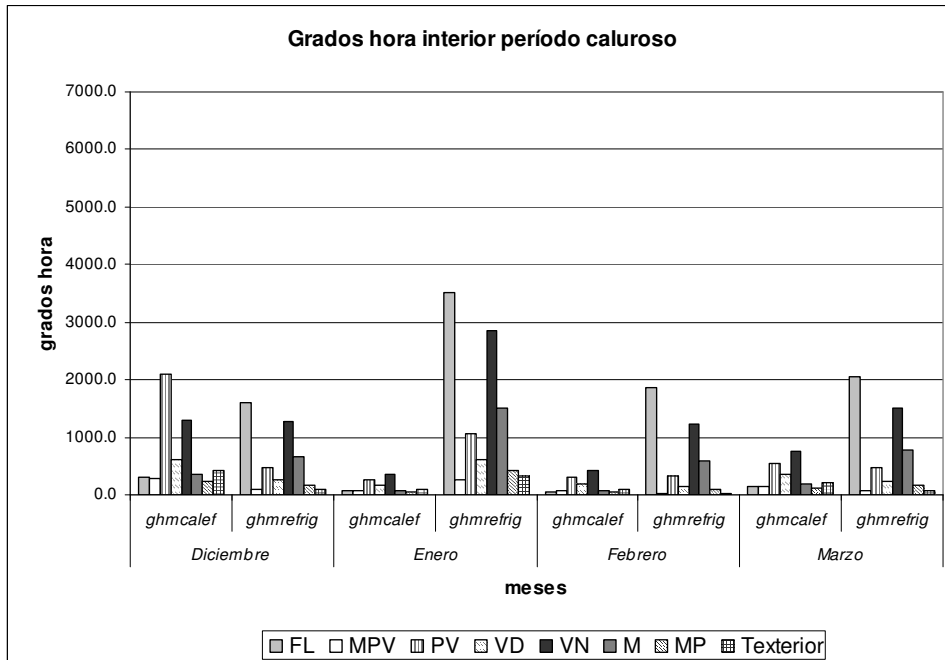
Posteriormente se determinan los grados día de disconfort por calor y por frío (fig 4.11) para todo el período, partiendo de los grados día promedio para cada mes multiplicado por el número de días del mismo mes y sumando luego todos los meses completos que comprenden el período.

A partir de los grados día también se puede indicar que la estrategia que presenta mejor desempeño térmico en el período caluroso es la estrategia de masa, protección y ventilación.

Al igual que con los porcentajes de confort, el prototipo sin ninguna estrategia presenta un comportamiento térmico menos eficiente, sobretodo en los grado día de refrigeración para el mes más riguroso (enero). A pesar de esto se observa que hay estrategias (VN y PV) que tendrían mayores grados día totales, que el prototipo sin ninguna intervención. Esto se debe a que durante algunas horas sería necesario incorporarle energía al prototipo para mantener el

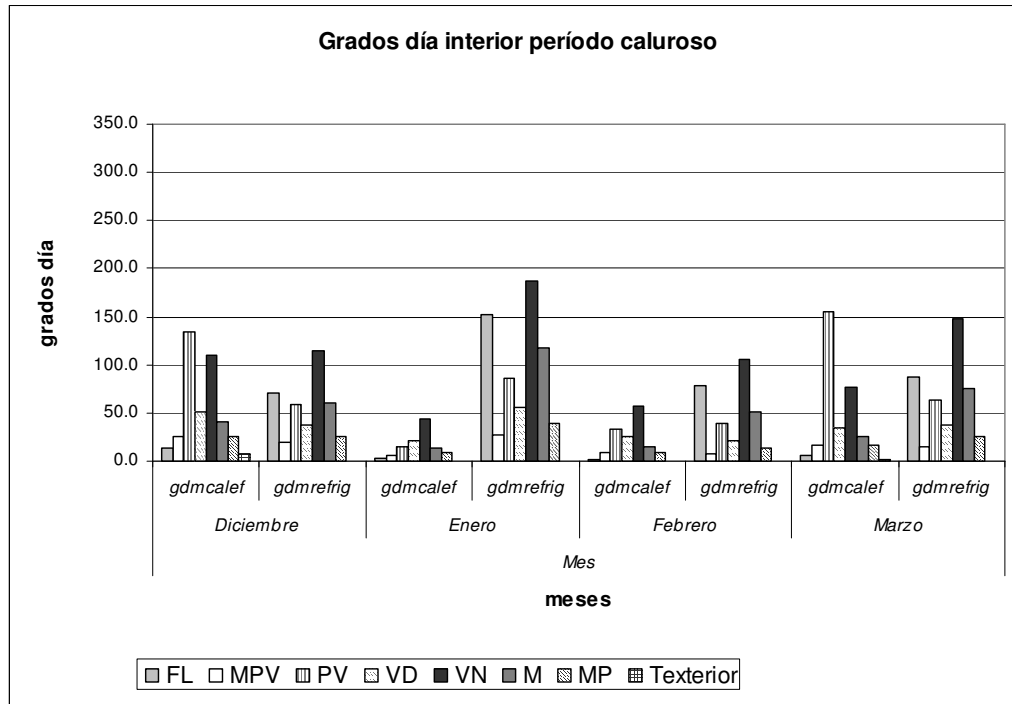
Capítulo 4:

confort interior debido a que la temperatura mínima media se iguala a la exterior para estas estrategias.



	Mes								grados
	Diciembre		Enero		Febrero		Marzo		totales
	ghmcalef	ghmrefrig	ghmcalef	ghmrefrig	ghmcalef	ghmrefrig	ghmcalef	ghmrefrig	
VN	1299.39	1264.82	349.74	2857.46	413.79	1226.67	744.85	1507.99	9664.72
FL	303.77	1606.55	61.55	3501.97	35.52	1856.51	146.78	2053.66	9566.31
PV	2086.79	460.59	252.31	1068.93	303.80	318.77	536.20	481.35	5508.73
M	356.86	666.09	81.07	1509.31	65.27	596.77	185.06	767.52	4227.95
VD	614.67	253.35	163.22	603.21	187.96	141.04	348.36	237.42	2549.23
MP	231.61	173.89	52.39	418.25	41.58	88.94	119.74	153.78	1280.17
MPV	273.27	100.79	66.83	257.32	61.75	33.73	146.81	62.73	1003.24
Texterior	422.7	104.7	100.0	323.7	98.0	26.0	221.8	69.8	1366.7

Fig. 4.10. Grados hora según cada estrategia para el período caluroso en comparación con la temperatura exterior



	Mes								grados día totales
	Diciembre		Enero		Febrero		Marzo		
	gdmcalef	gdmrefrig	gdmcalef	gdmrefrig	gdmcalef	gdmrefrig	gdmcalef	gdmrefrig	
VN	110.80	114.20	44.20	187.20	56.90	105.70	77.10	148.00	844.10
PV	134.65	59.17	15.19	86.72	33.63	39.51	155.65	63.16	587.68
FL	13.43	70.33	2.66	152.81	1.57	78.56	6.41	87.93	413.70
M	40.50	60.70	13.80	118.00	14.80	51.10	26.10	75.80	400.80
VD	51.92	37.16	20.70	56.05	26.20	20.60	34.50	37.50	284.62
MP	26.10	26.10	8.40	38.90	9.40	13.10	17.20	26.00	165.20
MPV	25.69	19.12	5.67	27.81	9.26	7.11	16.37	15.32	126.36
Exterior	7.20	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	1.30	0.00	8.80

Fig. 4.11. Grados día según cada estrategia para el período frío en comparación con la temperatura exterior

### Conclusiones preliminares

Para los meses más rigurosos del período caluroso (diciembre, enero y febrero) la evolución de la temperatura interior para el sistema constituido de isopaneles, se encuentra alejado de los rangos de confort debido al sobrecalentamiento que presenta y a la oscilación de su temperatura interior. La incorporación de estrategias pasivas mejora el comportamiento térmico del prototipo siendo la estrategia de masa, protección y ventilación la que presenta mejor desempeño térmico durante el período caluroso (mínima necesidad de refrigeración). Pero no se debería descartar la estrategia de masa y protección ya que cuando la temperatura exterior es mayor a la interior no es conveniente la ventilación natural. El prototipo liviano presenta una gran variabilidad en la evolución de la temperatura interior, y consume más energía que la necesaria según la condición exterior. La inclusión de estrategias para el control de la radiación y los flujos de calor en el tiempo disminuye el consumo de energía.

**Período frío**

Luego de utilizada la estadística de la regresión (ver fig 4.12 a 4.17) para las estrategias del período frío se observa que existe una correlación entre la temperatura interior y la exterior, pero en algunas estrategias la variabilidad es mayor debido a la incorporación de un elemento que imprime incertidumbre al sistema y que no se explica con la correlación temperatura interior - exterior.

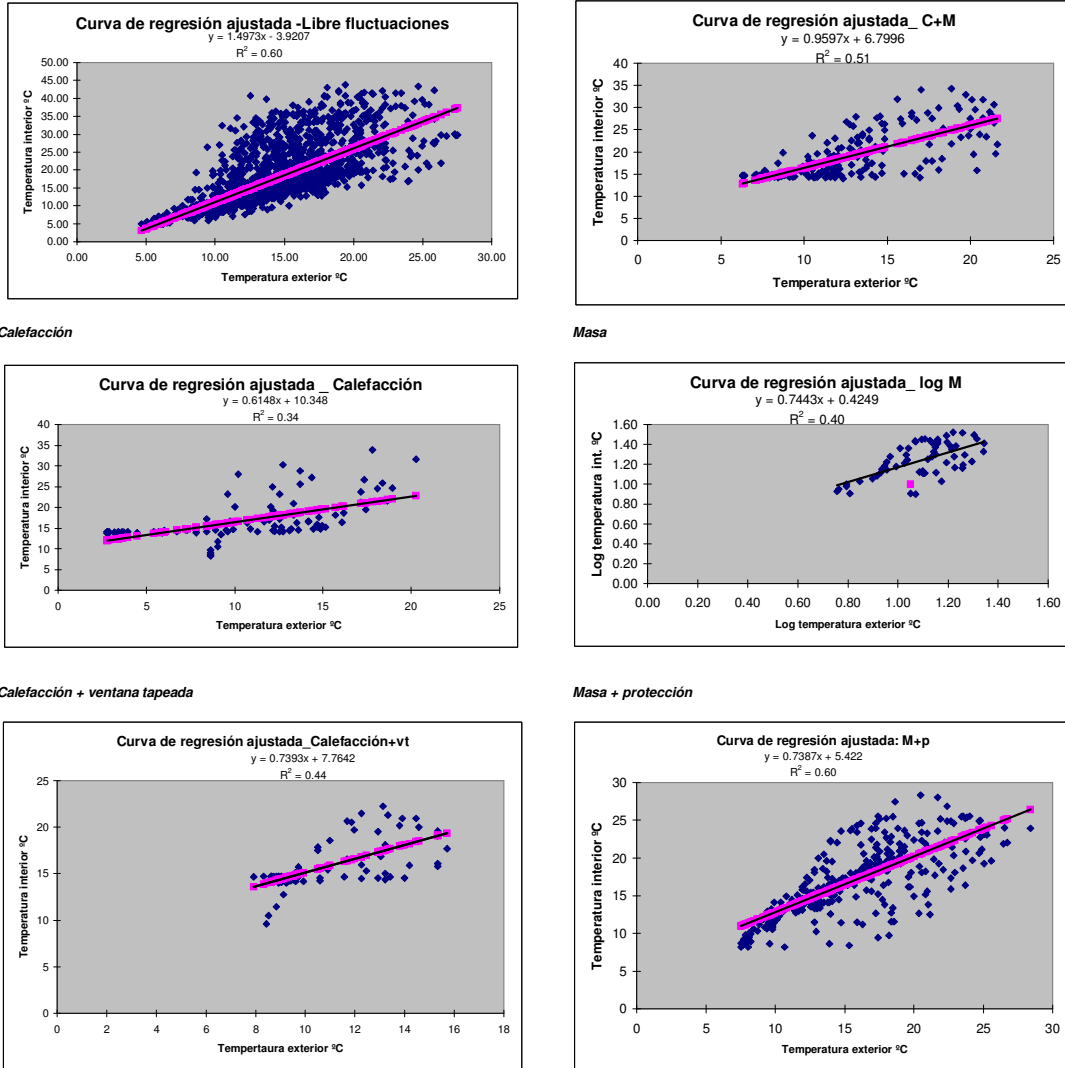


Fig. 4.12.al 4.17. Correlaciones entre temperatura exterior interior para distintas estrategias en el período frío

Del análisis de la regresión se pueden extraer los diversos modelos para poder evaluar cuál de las estrategia tendría un mejor desempeño térmico para determinadas condiciones exteriores. En la figura 4.17b se presentan las distintas ecuaciones.

Estrategias invierno						
	FL	C	C+VT	C+M	M	M+P
Ecuación	$T_i = -3.972 + (T_e \cdot 1.4973)$	$T_i = 10.348 + (T_e \cdot 0.61484)$	$T_i = -3.972 + (T_e \cdot 1.4973)$	$T_i = -3.972 + (T_e \cdot 1.4973)$	$T_i = -3.972 + (T_e \cdot 1.4973)$	$T_i = -3.972 + (T_e \cdot 1.4973)$
Indicador de correlación	<b>R2=0.6</b>	<b>R2=0.34</b>	<b>R2=0.44</b>	<b>R2=0.51</b>	<b>R2=0.40</b>	<b>R2=0.6</b>
Fcalculado	105	49	62	110	29	399
Fcrítico	$8.47 \times 10^{-17}$	$2.42 \times 10^{-10}$	$9.90 \times 10^{-12}$	$4.3 \times 10^{-18}$	$1.18 \times 10^{-6}$	$1.97 \times 10^{-58}$
Probable $T_i$						
Texterior						
5	5.00	13.42	11.46	11.60	10.71	9.12
10	11.00	16.50	15.16	16.40	15.65	12.81
15	18.49	19.57	18.85	21.20	20.58	16.50
20	25.97	22.64	22.55	25.99	25.52	20.20
25	33.46	25.72	26.25	30.79	30.46	23.89
%Horas de confort int medidas	16.00	16.16	15.30	23.53	35.00	45.89
%Horas de confort ext medidas	13.00	5.05	2.19	14.97	30.00	39.28
relación %h conf ext/%h conf int	0.81	0.31	0.14	0.64	0.86	0.86

Fig 4.17b. Modelos de regresión para las distintas estrategias en el período frío

En estas ecuaciones la variable independiente es la temperatura exterior y la dependiente es la temperatura interior. En la mayoría de los casos, el modelo no explicaría el 50% de los datos medidos; sólo en tres estrategias: LF, C+M y M+P explicaría los datos en más del 50%, por lo que las conclusiones solo se realizará para estos modelos. En todos los casos el F calculado es mayor al crítico lo que determina la existencia de una correlación. Para las temperaturas exteriores inferiores a los 15°C ninguna de las estrategias podría alcanzar temperaturas de confort, siendo la calefacción con masa la que tendría el mejor desempeño térmico en lo que refiere a temperaturas.

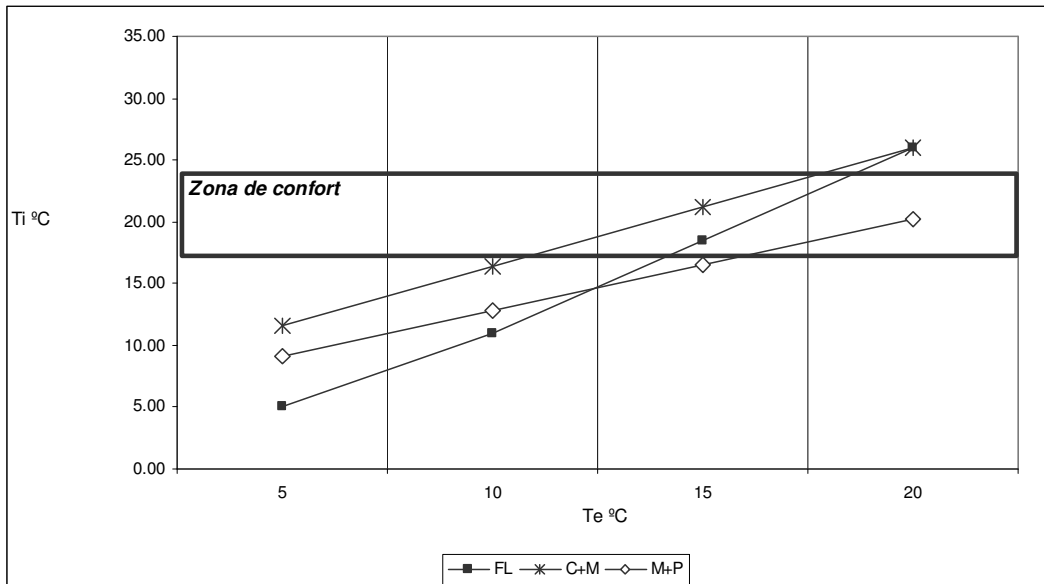


Fig. 4.18. Ecuaciones que modelizan el comportamiento de la temperatura interior utilizando distintas estrategias bioclimáticas

## Capítulo 4:

Al igual que para el período caluroso, se determinaron los porcentajes de confort y desconfort interior del prototipo libre de fluctuaciones y de las estrategias aplicadas al mismo. Esto nos permite conocer si las temperaturas en el período frío están dentro o fuera de un determinado rango (18°C a 24°C). El análisis de estos porcentajes determina que la colocación de masa y calefacción logra obtener porcentajes de confort de 69.9%, mientras que el resto de las estrategias para la mayoría de las horas no permite registrar condiciones de confort en el interior (ver figura 4.19). Se debe aclarar que como las regresiones de las estrategias: C, CVT y M registraron coeficiente de  $r^2$  muy bajos las conclusiones sobre las horas de confort en estas estrategias deben relativizarse o descartarse ya que no podrían explicar la mayorías de los probables datos.

## Resumen horas de confort invierno

	Total horas	% confort
CM	3345	69.94
C	3338	69.79
CVT	1937	40.50
LF	1813	37.91
MP	1217	25.44
M	29	0.61
Total de horas registradas	4783	100.00

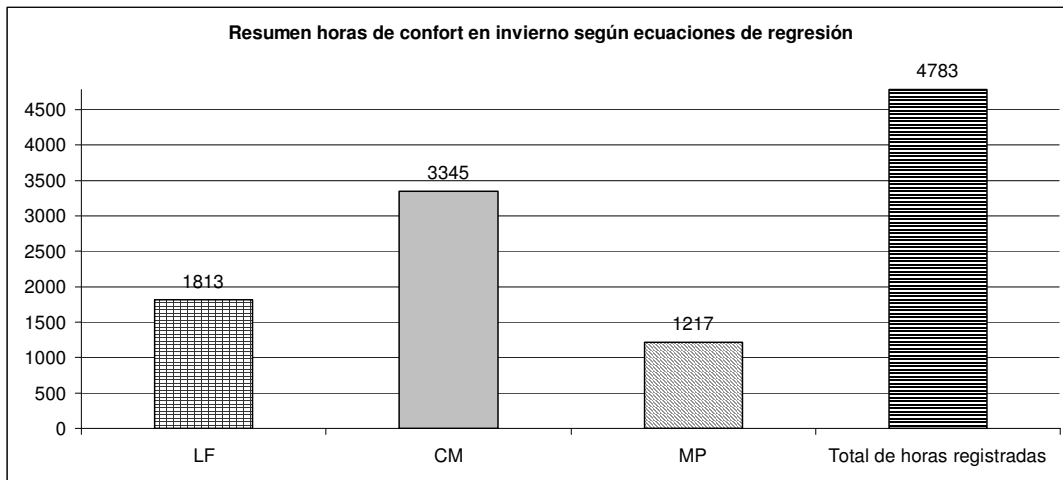
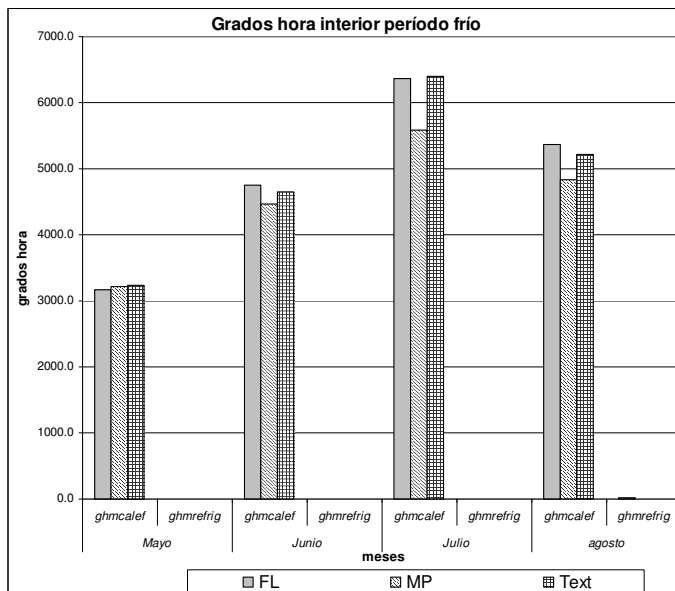


Fig. 4.19. Comparación horas de confort según cada estrategia para el período frío

Al igual que con las estrategias del período caluroso se calcularon los grados día y grados hora para las estrategias pasivas que cumplieron los supuestos de la regresión, en este caso solamente: FL y M+P. Según el modelo la estrategia pasiva que combina masa y protección tendría un mejor desempeño térmico en lo que refiere a consumo de energía, aunque tendría mayores horas de confort el prototipo con libre fluctuaciones. Es de resaltar que la cantidad de grados hora (ver fig 4.20) para el período frío se duplicó con respecto al período caluroso, lo que resulta en mayor consumo de energía para este período.

Incluso aplicando una estrategia que impide la ganancia solar al prototipo (m+p) se obtienen menores grados hora de calefacción que con fluctuaciones libres.



	Mes								grados hora totales
	Mayo		Junio		Julio		Agosto		
	ghmcalef	ghmrefrig	ghmcalef	ghmrefrig	ghmcalef	ghmrefrig	ghmcalef	ghmrefrig	
FL	3169.23	2.27	4752.32	2.27	6365.81	0.00	5370.27	11.22	19673.38
MP	3220.36	0.00	4467.88	0.00	5582.79	0.00	4834.42	0.00	18105.46
Texterior	3226.90	0.00	4650.80	0.00	6394.90	0.00	5213.00	0.00	19485.60

Fig. 4.20. Grados hora según cada estrategia para el período frío en comparación con la temperatura exterior

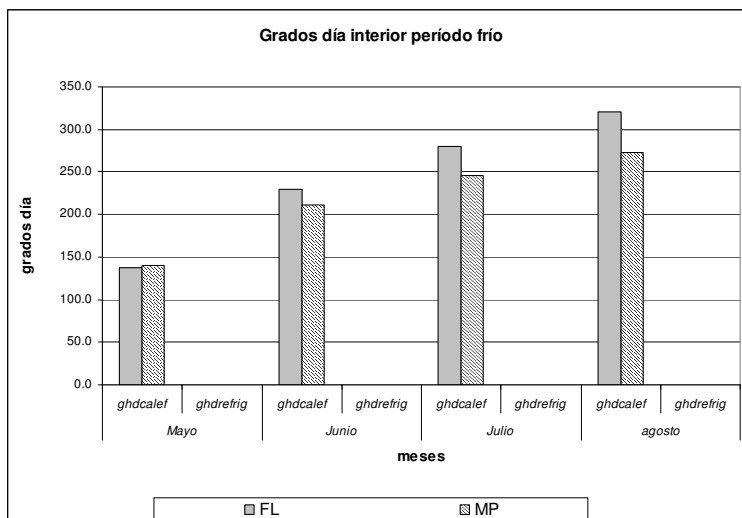


Fig.	Mes								grados día totales
	Mayo		Junio		Julio		Agosto		
	ghdcalef	ghdrefrig	ghdcalef	ghdrefrig	ghdcalef	ghdrefrig	ghdcalef	ghdrefrig	
FL	137.94	0.10	229.34	0.00	280.61	0.00	320.70	0.00	968.69
MP	139.81	0.00	210.99	0.00	245.63	0.00	272.69	0.00	869.13
Texterior	128.60	0.00	193.60	0.00	265.80	0.00	209.00	0.00	797.00

4.21. Grados día según cada estrategia para el período frío en comparación con la temperatura exterior

### Conclusiones preliminares

El consumo de energía para calefacción en el prototipo con fluctuaciones libres es 5 % más alto que colocando masa y protección (ver fig 4.21). Sin embargo el prototipo en libre fluctuaciones



Capítulo 4:

presenta horas de sobrecalentamiento debido al mal manejo de los flujos de energía en el tiempo por lo que necesita un método de enfriamiento pasivo (ventilación natural) o activo (consumo de energía para refrigeración) situación que no sucede en el caso de masa y protección. Para un análisis con mayor detenimiento se debe conocer cuanta energía consumiría el prototipo si se le incorpora solo masa permitiendo la ganancia solar para calefacción. Este dato no fue posible obtenerlo experimentalmente debido a la variabilidad de los registros cuando se monitoreo esta estrategia.

Si comparamos el prototipo sin modificaciones (FL) y el prototipo con incorporación de dos estrategias pasivas (M+P) y analizamos su desempeño para los meses representativos del período frío y del caluroso (fig 4.22 y 4.23), se verifica una de las hipótesis de partida: la estrategia más eficiente desde el punto de vista energético y térmico (menor consumo de energía y mayor porcentaje de horas de confort) para la situación climática de Montevideo es la que combina masa térmica y protección solar.

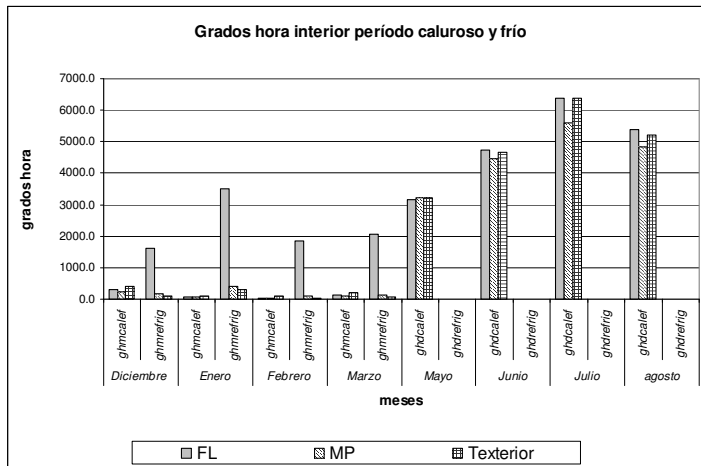


Fig. 4.22. Grados hora según cada estrategia para los dos períodos y en comparación con la temperatura exterior

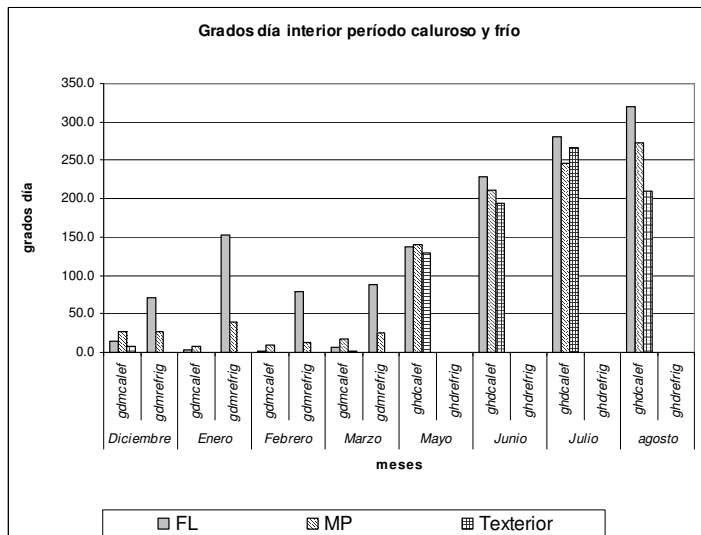


Fig. 4.23. Grados día según cada estrategia para los dos períodos y en comparación con la temperatura exterior

	Período caluroso			Período frío			Totales generales		
	sub total:ghmcalef	sub total: ghmrefrig	totales	sub total:ghmcalef	sub total: ghmrefrig	totales	total:ghmcalef	total: ghmrefrig	totales
FL	547.61	9018.70	9566.31	24.07	389.62	413.70	571.69	9408.32	9980.01
MP	445.32	834.85	1280.17	61.10	104.10	165.20	506.42	938.95	1445.37
Texterior	842.50	524.20	1366.70	8.50	0.30	8.80	851.00	524.50	1375.50

Fig. 4.24. Cuadro detallado de grados día y grados hora para los dos períodos.

### 4.3 Simulación de estrategias bioclimáticas: evolución de la temperatura interior y del consumo de energía

A través de simulación computacional con el programa Simedif se determinó el comportamiento térmico del prototipo liviano en su situación inicial (FL) y se lo comparó con el comportamiento térmico resultante de la aplicación de estrategias bioclimáticas, de a una por vez y/o combinadas.

#### Período caluroso

El período total simulado fueron 7 días consecutivos con un total de 172 horas, donde se registró una temperatura exterior máxima absoluta de 33.5°C, una mínima absoluta de 16.8°C y una temperatura exterior media de 24°C .

Las estrategias para el período caluroso son las siguientes: 1) Protección en ventana (PV), 2) Fluctuaciones libres, 3) Masa, 4) Masa y protección (M+PV), 5) Masa, protección en ventana e y ventilación diurna, 6) Ventilación nocturna de 0 a 6 hs.(VN), Ventilación diurna de 11 a 16 hs. (VD).

Las temperaturas medias y las temperaturas mínimas de todas las estrategias simuladas se encuentran siempre dentro del rango de confort para el período caluroso (18-27°C) mientras que las temperaturas máximas se encuentran siempre fuera de este rango (ver Fig. 4.25 y Fig. 4.26).

El prototipo liviano en fluctuaciones libres presenta una gran oscilación de la temperatura interior debido entre otras causas al sobrecalentamiento, por lo cual los valores de temperatura interior se alejan de los rangos de confort. La temperatura máxima absoluta fue de 41.3°C mientras la máxima absoluta exterior fue de 33.5°C (ver Fig. 4.27).

El resultado de la simulación no permite sacar conclusiones sobre los efectos de la ventilación nocturna ni de la diurna sobre la temperatura interior, ya que el programa no parece ser sensible a los horarios en que se usa la ventilación (ver Fig. 4.25 y 4.26).

Para la estrategia que incorpora protección solar, la temperatura interior no sigue el andamio de la temperatura exterior incorporando un retraso promedio de una hora, siendo la máxima absoluta de 36.4°C. Esto permite apreciar la importancia de los dispositivos para el control de la radiación solar. La incorporación de masa térmica logra mejorar el desempeño térmico del prototipo en cuanto a la amplitud de la temperatura interior y su retraso térmico y no tanto en el valor máxima absoluto que fue de 36.7°C.

Las estrategias que consiguen temperaturas interiores comprendidas dentro del rango de confort en más cantidad de días para el período simulado son:

- En primera instancia la estrategia que combina masa térmica con protección en ventana consigue estar dentro del rango de 18 a 27°C establecido en cuatro de los siete días simulados, presenta la menor amplitud interior y mayor retraso térmico.
- La estrategia que combina masa térmica con protección y ventilación diurna muestra temperaturas máximas interiores más elevadas que la estrategia anterior, ya que la ventilación en horas donde la temperatura exterior es elevada (de 11 a 16 hs.) incrementa la temperatura interior del prototipo.

	T ext-	PV	FL	M	M+PV	M+PV+VD	VN	VD
Tm	24.0	25.5	27.1	26.7	24.7	24.4	25.3	25.2
Tx	33.5	36.4	41.3	36.7	32.5	33.1	35.9	35.7
Tn	16.8	19.0	19.0	20.9	19.8	18.4	18.9	18.9

Fig. 4. 25 Cuadro con temperaturas media, máxima y mínima interiores para cada estrategia

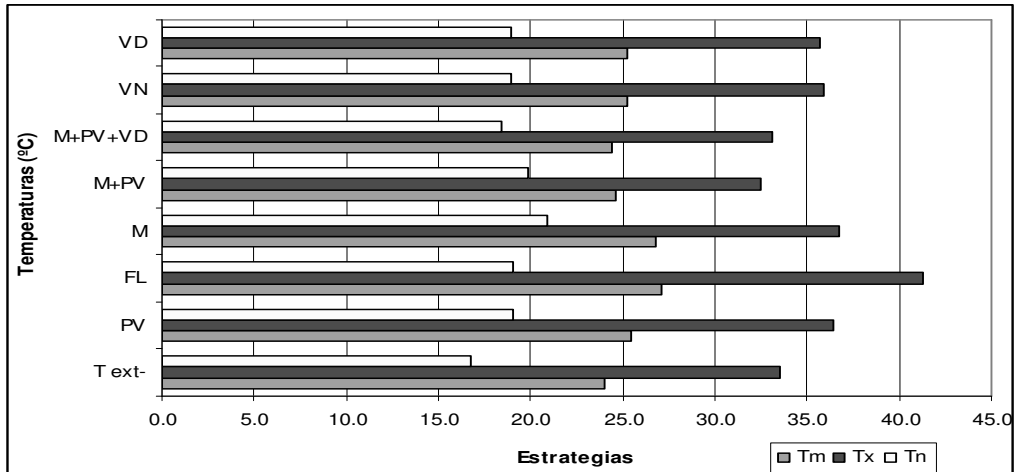


Fig. 4. 26 Gráfica con temperaturas media, máxima y mínimas interiores para cada estrategia

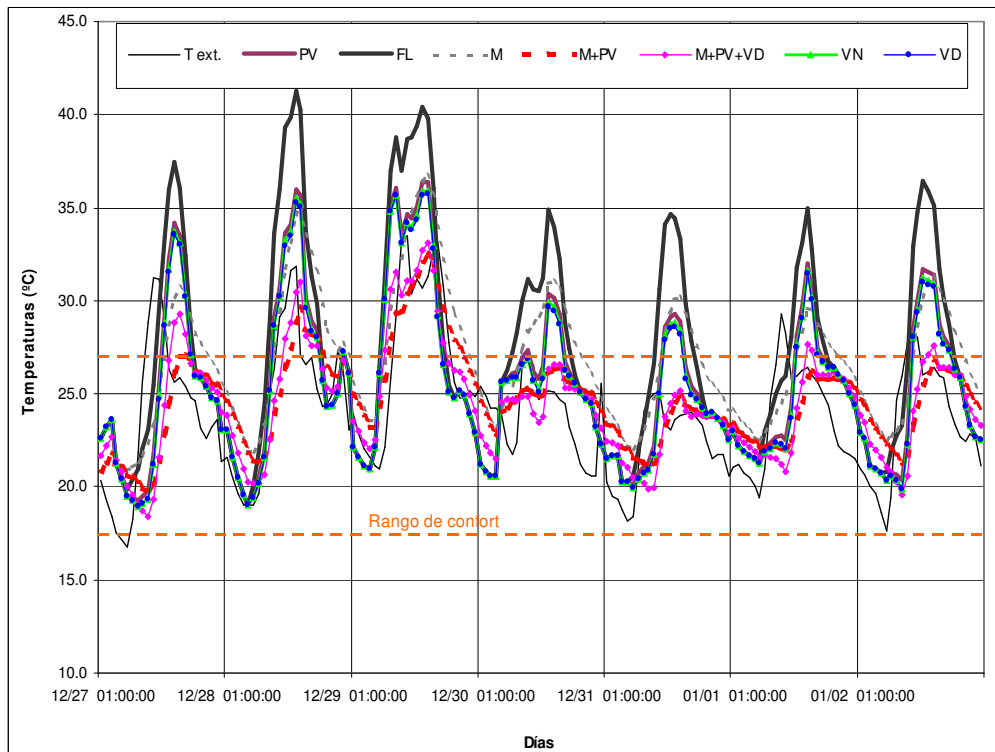


Fig. 4. 27. a. Temperaturas horarias para los días simulados de todas las estrategias

### Conclusiones preliminares:

La estrategia que tiene masa térmica protegida de la radiación solar es la que logra mejor desempeño térmico para este período. Las temperaturas interiores obtenidas en la mayoría de días simulados lograron valores comprendidos dentro del rango definido como de confort para el período caluroso en nuestro país. La temperatura máxima absoluta 32.5°C fue la más baja alcanzada entre todas las estrategias simuladas (ver Fig. 4.27b).

Otra estrategia que logra mejorar el comportamiento térmico del prototipo es la que combina masa térmica + protección solar + ventilación diurna, con una temperatura máxima absoluta de 33.1°C. Esto muestra la importancia de la ventilación natural siempre que se utilice cuando la temperatura exterior sea inferior a la interior para no ganar calor indeseado (ver Fig. 4.27b).

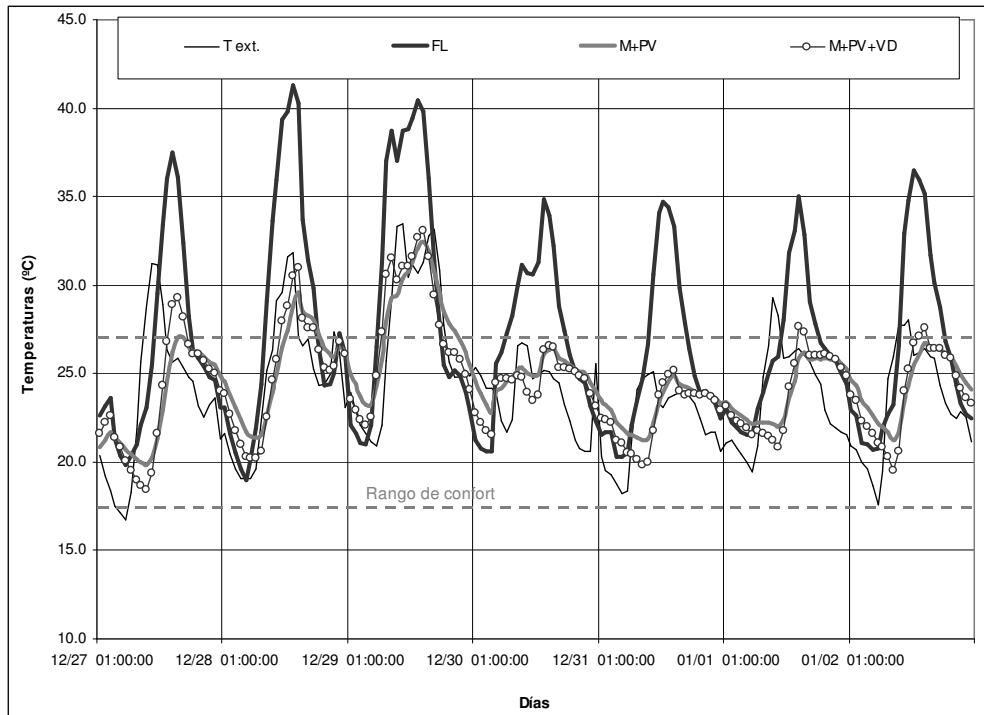


Fig. 4. 27. b. Temperaturas horarias para los días simulados de algunas estrategias

### Período frío

En este caso el período total simulado fueron 8 días consecutivos con un total de 192 horas, donde se registró una temperatura exterior máxima absoluta de 17.8°C, una mínima absoluta de 6.0°C y una temperatura exterior media exterior de 10.7°C .

Las estrategias para el período frío aplicadas al prototipo liviano son las siguientes: 1) Fluctuaciones libres (FL), 2) Calefacción (FL+C), 3) Calefacción con ventana tapeada (C+VT), 4) Calefacción y masa térmica (C+M), 5) Masa térmica (M), 6) Masa con protección en ventana (M+PV).

Para realizar la comparación entre estrategias pasivas no se presentan en esta parte las que incluyen calefacción ya que no permiten evaluar su desempeño térmico sino su consumo de energía.

Analizando el andamio de las temperaturas interiores simuladas observamos que ninguna estrategia consigue que las temperaturas interiores estén dentro del rango de confort del período frío (18 a 24°C). En la estrategia fluctuaciones libres la temperatura máxima absoluta de estos ocho días fue 23°C y en la estrategia que tiene masa térmica la temperatura máxima absoluta fue 18.5°C. La temperatura mínima se aleja entre 10.4 y 12°C del rango inferior de confort (18°C) y la temperatura media se aleja en 12°C aproximadamente (ver Fig. 4.28 al 4.30).

La estrategia con menores temperaturas interiores es masa térmica con protección en ventana que alcanza el menor valor de temperatura máxima absoluta (16.6°C). Esto indica la importancia del diseño de las protecciones solares tanto para el período caluroso, donde no queremos ganar energía, como en el período frío ya que no permite el ingreso de la radiación solar para elevar la temperatura interior.

	T ext.	FL	M	M+PV
Tm (°C)	10.7	12.2	12.1	11.7
Tx (°C)	17.8	23.0	18.5	16.6
Tn (°C)	6.0	6.0	7.6	7.6

Fig. 4. 28 Cuadro con temperatura media, máxima y mínima interiores y exteriores para cada estrategia

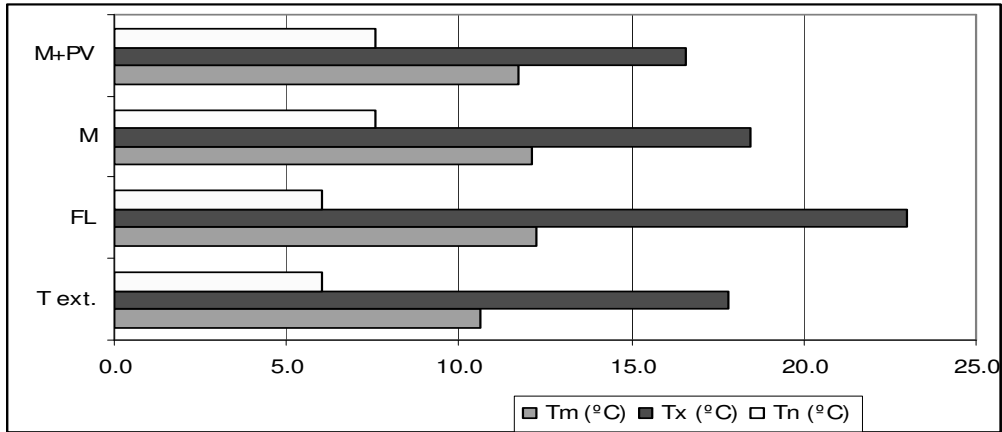


Fig. 4.29 Gráfica con temperatura media, máxima y mínima interiores y exteriores para cada estrategia

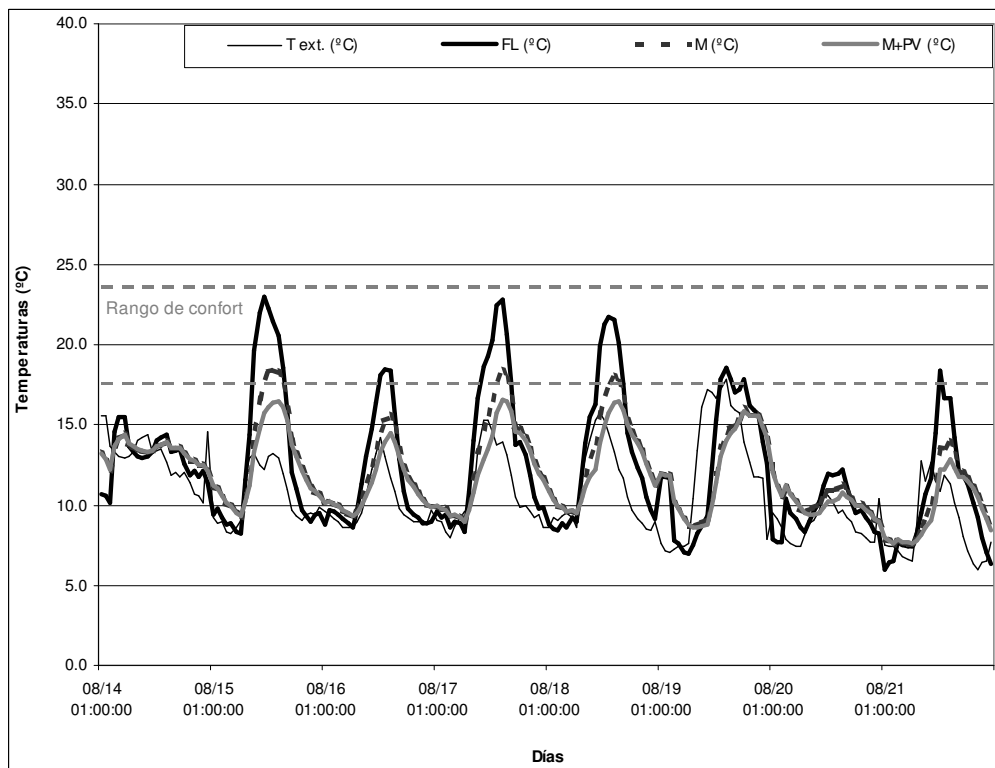


Fig. 4.30 Temperaturas horarias para los días simulados de todas las estrategias

**Conclusiones preliminares:**

De las tres estrategias comparadas para este período del año la que presentó las temperaturas interiores más elevadas fue fluctuaciones libres. Sin embargo ninguna de ellas logra un buen desempeño térmico ya que sus temperaturas interiores se encuentran fuera del rango de confort establecido (18 a 24°C).

**Consumo de energía eléctrica simulado según estrategias**

Para las semanas elegidas en cada período se simuló, con el programa SIMEDIF, el posible consumo de energía para refrigeración y calefacción según correspondiera (período frío y caluroso respectivamente). Se tomó una temperatura base de 27°C para el período caluroso y 18 °C para el período frío, dado que el programa no admite un rango.

**Período caluroso -TERMOSTATO 27°C**

1. Prototipo con ventana tapeada, VT, Rph=0.5 del 24/12 al 26/12/2005

Fecha	Consumo KWh para refrigeración		
1	24-Dic	0,00	
2	25-Dic	0,00	
3	26-Dic	0,46	
4	27-Dic	0,00	
5	28-Dic	0,00	subtototal
6	29-Dic	0,00	0,46
7	30-Dic	0,46	
8	31-Dic	0,00	
	<b>Total</b>	<b>0,92</b>	

2. Prototipo con protecc. Solar en techo y ventana, PTV, Rph=0.5 del 27/12 al 2/1

Fecha	Consumo KW para refrigeración		
1	27-Dic	0,97	
2	28-Dic	1,42	
3	29-Dic	2,68	
4	30-Dic	0,30	
5	31-Dic	0,10	subtototal
6	01-Ene	0,45	5,47
7	02-Ene	0,68	
	<b>Total</b>	<b>6,59</b>	

3. Prototipo c/protección solar en ventana, PV, y Rph=0.5 del 2/1 al 7/1/2006

Fecha	Consumo KW para refrigeración		
1	02-Ene	0,86	
2	03-Ene	1,59	
3	04-Ene	0,43	
4	05-Ene	0,46	
5	06-Ene	3,12	subtototal
6	07-Ene	1,76	6,46
	<b>Total</b>	<b>8,22</b>	

4. Prototipo con ventilación nocturna (18 a 9hs.), VN, del 16/01 al 23/01/2006

Fecha	Consumo KW para refrigeración		
1	16-Ene	0,08	
2	17-Ene	0	
3	18-Ene	0	
4	19-Ene	1,45	
5	20-Ene	1,49	subtototal
6	21-Ene	1,32	3,02
7	22-Ene	0	
8	23-Ene	2,19	
	<b>Total</b>	<b>6,53</b>	

5. Prototipo c/ventilac.diurna (11a 16hs.), VD, del 09/02 al 16/02/2006

Fecha	Consumo KW para refrigeración		
1	09-Feb	2,2	
2	10-Feb	1,31	
3	11-Feb	2,2	
4	12-Feb	1,31	
5	13-Feb	2,2	subtototal
6	14-Feb	1,31	9,22
7	15-Feb	2,2	
8	16-Feb	1,31	
	<b>Total</b>	<b>11,84</b>	

Fig. 4.30.a. Consumo simulado para estrategias del período caluroso

6. Prototipo c/masa térmica + protec.solar ventana norte, M+P, Rph=0.5 del 20/02-27/02/2006

	Fecha	Consumo KW para refrigeración		
1	20-Feb	3,35		
2	21-Feb	3,92		
3	22-Feb	2,96		
4	23-Feb	0		
5	24-Feb	0	subtotal	10,23
6	25-Feb	0		
7	26-Feb	0,3		
8	27-Feb	0,28		
	<b>Total</b>	<b>10,81</b>		

7. Prototipo c/masa térmica+protec.solar +ventil.(9 a 16 hs.), M+P+V, del 27/02-03/03/2006

	Fecha	Consumo KW para refrigeración		
1	27-Feb	0,47		
2	28-Feb	0,32		
3	01-Mar	2,99		
4	02-Mar	1,86		
5	03-Mar	0,00	subtotal	5,64
	<b>Total</b>	<b>5,64</b>		

8. Prototipo fluctuaciones libres, FL, con Rph=0.5 del 10/04 al 17/04/2006

	Fecha	Consumo KW para refrigeración		
1	10-Abr	2,96		
2	11-Abr	1,50		
3	12-Abr	3,28		
4	13-Abr	2,49		
5	14-Abr	0,00	subtotal	10,23
6	15-Abr	0,86		
7	16-Abr	1,14		
8	17-Abr	1,78		
	<b>Total</b>	<b>14,01</b>		

Fig. 4.30.b. Consumo simulado para estrategias del período caluroso

Como se expuso en el capítulo 3, se trataron de elegir semanas con temperaturas exteriores similares, porque se aplicaron las estrategias en períodos de tiempo distintos. Por esta situación es difícil compararlos. Sí se puede concluir preliminarmente que la protección solar es el dispositivo determinante para el menor consumo de energía en refrigeración (ver fig 4.30 a y 4.30 b).

Si observamos los subtotales parciales para cinco días consecutivos de consumo, también es la colocación de protecciones solares o ventana tapeada las que presentan menores consumos. Los mayores consumos se presentan en las horas donde existe mayor radiación solar desde las 11hs hasta 18hs aproximadamente.

En el período frío se observa para todas las estrategias un mayor consumo de energía. Esto coincide con el mayor alejamiento de las temperaturas exteriores de la zona de confort. Las horas en que es requerida energía suplementaria es en promedio más de 12 horas (ver figura 4.30c).

**Periodo frío TERMOSTATO 18°C**

9. Prototipo fluctuaciones libres, FL, con Rph=0.5 del 29/05 al 05/06/2006

	Fecha	Consumo KW para calefacción		
1	29-May	4,11		
2	30-May	4,39		
3	31-May	3,59		
4	01-Jun	3,16		
5	02-Jun	3,07	subtotal	18,32
6	03-Jun	4,28		
7	04-Jun	3,27		
8	05-Jun	3,77		
	<b>Total</b>	<b>29,64</b>		

10.a. Prototipo con calientador + tapeado de ventana, C+VT, del 31/07 al 07/08

	Fecha	Consumo KW para calefacción		
1	31-Jul	3,50		
2	01-Ago	4,10		
3	02-Ago	2,80		
4	03-Ago	3,10		
5	04-Ago	2,30	subtotal	15,80
6	05-Ago	3,60		
7	06-Ago	2,80		
8	07-Ago	3,10		
	<b>Total semanal</b>	<b>25,30</b>		

10.b. Prototipo con calientador + tapeado de ventana, C+VT, del 14/08 al 21/08

	Fecha	Consumo KW para calefacción		
1	14-Ago	4,50		
2	15-Ago	4,90		
3	16-Ago	5,40		
4	17-Ago	3,40		
5	18-Ago	3,40	subtotal	21,60
6	19-Ago	5,20		
7	20-Ago	7,20		
8	21-Ago	7,30		
	<b>Total semanal</b>	<b>41,30</b>		

11.a. Prototipo con masa, M, del 28/08 al 04/09

	Fecha	Consumo KW para calefacción		
1	28-Ago	5,11		
2	29-Ago	4,63		
3	30-Ago	4,78		
4	31-Ago	2,24		
5	01-Sep	3,97	subtotal	20,73
6	02-Sep	9,39		
7	03-Sep	7,1		
8	04-Sep	7,99		
	<b>Total semanal</b>	<b>45,21</b>		

11.b. Prototipo con calefacción + masa, C+M, del 04/09 al 11/09

	Fecha	Consumo KW para calefacción		
1	04-Sep	4,80		
2	05-Sep	4,10		
3	06-Sep	3,90		
4	07-Sep	2,70		
5	08-Sep	2,20	subtotal	17,70
6	09-Sep	1,80		
7	10-Sep	1,40		
8	11-Sep	0,90		
	<b>Total semanal</b>	<b>21,80</b>		

12. Prototipo con masa + protección, M+P, del 25/09 al 02/10

	Fecha	Consumo KW para calefacción		
1	25-Sep	3,86		
2	26-Sep	1		
3	27-Sep	1,36		
4	28-Sep	6,36		
5	29-Sep	4,16	subtotal	16,74
6	30-Sep	2,51		
7	01-Oct	0,76		
8	02-Oct	0,21		
	<b>Total semanal</b>	<b>20,22</b>		

Fig. 4.30.c Consumo simulado para estrategias del periodo frío



Para la simulación con el SIMEDIF, las estrategias con masa y calefacción y con masa son idénticas, por las propias decisiones de ingreso de la información. Contrariamente a lo que pasa en el período caluroso, las estrategias que presentan protección solar son las que consumen más energía lo que es lógico ya que con el aporte de radiación requeriría menor consumo de energía para alcanzar el confort interior. El consumo de energía está directamente relacionado a lo que sucede en el exterior, por eso es que existen diferencias notorias entre estrategias. La semana más rigurosa fue la última de agosto, lo que determina también un mayor consumo.

#### 4.4 Evaluación del consumo de energía eléctrica

Para comparar el consumo de energía de cada una de las distintas estrategias aplicadas al prototipo liviano se procedió a realizar una nueva simulación computacional a través del programa Simedif.

##### Periodo caluroso

Primeramente se eligieron los registros horarios de temperatura exterior correspondientes a siete días del período caluroso (168 horas), resultando una semana con temperatura media de 24.0°C, máxima de 33.5°C y mínima de 16.8°C. Para esa semana seleccionada fueron simuladas las siete estrategias siguientes:

- 1) Protección en ventana (PV),
- 2) Fluctuaciones libres (FL),
- 3) Masa térmica (M),
- 4) Masa térmica + protección en ventana (M+P),
- 5) Masa térmica + protección en ventana + ventilación diurna (M+P+V),
- 6) Ventilación nocturna (VN),
- 7) Ventilación diurna (VD).

Con los resultados horarios de temperatura interior del prototipo se realizaron los porcentajes de horas de confort térmico (rango de 20 a 27°C) y desconfort térmico para cada estrategia elegida. Este análisis aportó los siguientes datos que se muestran en las Fig. 4.31. Las estrategias que tuvieron mayor cantidad de horas de confort fueron: la que combinó masa térmica con protección en la ventana y la que combinó masa térmica con protección en ventana y ventilación diurna, logrando respectivamente el 85% y el 80% de horas de confort del total de horas simuladas. No existieron diferencias significativas entre la estrategia protección en ventana (PV), ventilación nocturna (VN) y ventilación diurna (VD). El programa no muestra sensibilidad al horario de uso de la ventilación, ya que los registros de temperatura exterior en el horario en que se aplicó la ventilación nocturna (0 a 6 h.) están comprendidos entre los 17 y los 21°C y los correspondientes a la ventilación diurna (11 y las 16 h.) entre los 25 y 32°C. Las diferencias debieron ser más significativas entre las temperaturas interiores de cada simulación, sin embargo éstas resultaron en valores entre 0.2 y 0.4°C.

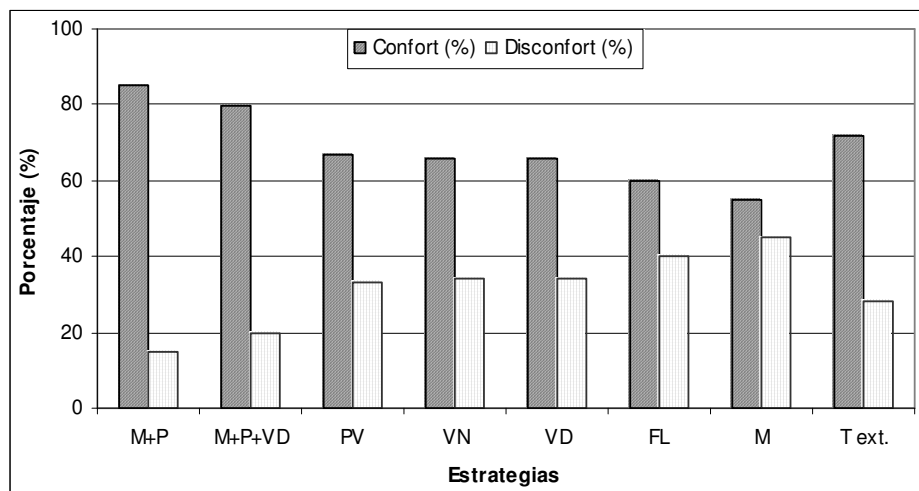


Fig. 4.31. Porcentajes de horas de confort y desconfort térmico según estrategias

La estrategia masa térmica logró que el prototipo tuviera confort térmico sólo el 55% de las horas simuladas, por lo que no existe diferencia importante entre las horas de confort y desconfort térmico para esta estrategia en verano. Estos porcentajes son similares a los obtenidos en fluctuaciones libres.

Posteriormente se realizó el cálculo de los Grados Día y Grados Hora para refrigeración tomando como base 27°C para determinar los consumos de energía para cada estrategia de manera de poder compararlas.

Analizando los grados día de la tabla de la Fig. 4.32. se observa que la estrategia fluctuaciones libres y masa térmica son las dos estrategias que consumen mayor cantidad de energía en refrigeración, contrariamente a las estrategias masa térmica con protección + ventilación diurna y masa térmica + protección que tienen el menor consumo de energía.

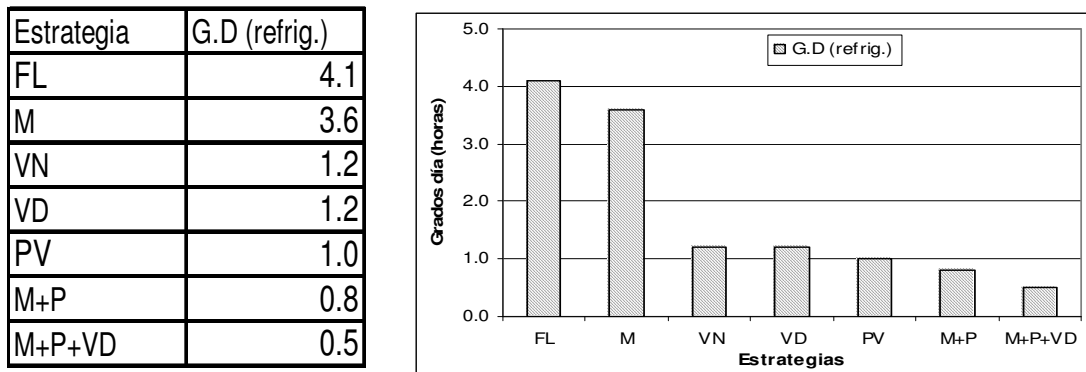


Fig. 4.32 Grados día según cada estrategia para el período caluroso

En relación con los grados hora de refrigeración según la Fig. 4.33. la estrategia con mayor consumo de energía es la del prototipo en fluctuaciones libres con 399 grados hora, como era de esperar, seguida de la estrategia masa térmica con 226 grados hora.

Si contrastamos los consumos totales que incluyen cargas térmicas para refrigeración y para calefacción apreciamos que la estrategia que consume menos energía es la que incluye masa con protección. Si analizamos solamente los grados día, la estrategia de menor consumo es la que incluye masa térmica con protección y ventilación diurna.

Podemos concluir que para el período caluroso la estrategia que tiene mejor desempeño térmico es masa con protección seguida por la de masa con protección y ventilación diurna.

Estrategia	G.H.(calefac.)	G.H.(refrig.)	Totales (C+R)
FL	1.6	397.6	399.2
M	0	225.7	225.7
PV	4.4	198.2	202.6
VN	6.5	178.9	185.4
VD	6	172.8	178.8
M+P+VD	5.6	63.8	69.4
M+P	0.2	50.7	50.9

Fig. 4.33 Cuadro con grados hora para calefacción y refrigeración para cada estrategia

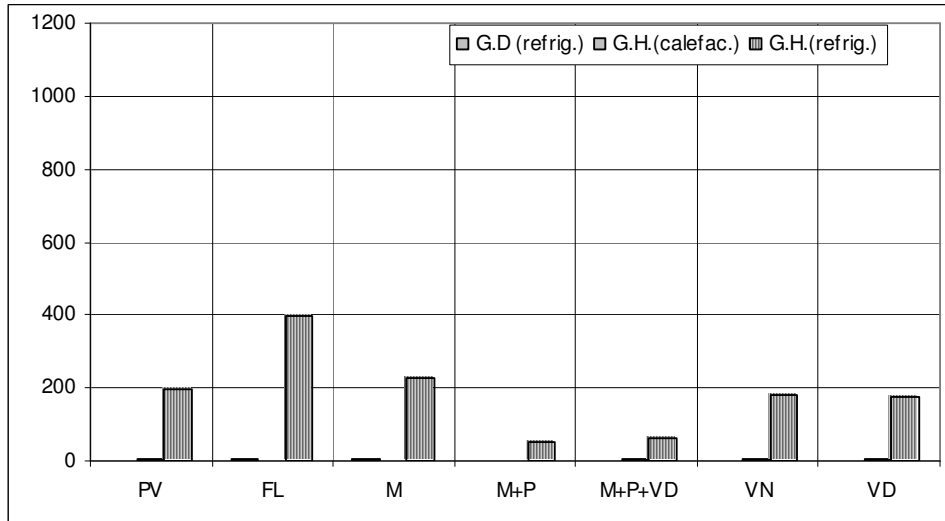


Fig. 4.34 Grados hora según las estrategias para el período caluroso

### Período frío

Para este período del año se seleccionaron los registros horarios de temperatura exterior correspondientes a ocho días (192 horas), resultando una semana con temperatura media de 10.7°C, máxima de 17.8°C y mínima registró un valor de 6.0°C. Para esa semana seleccionada fueron simuladas las siguientes estrategias:

- 1) Fluctuaciones libres (FL),
- 2) Masa (M)
- 3) Masa térmica + protección en ventana (M+P)

Se procedió análogamente al período caluroso, realizando los porcentajes de horas de confort térmico según el rango de 18 a 24°C y desconfort térmico para cada estrategia elegida, en base a los resultados horarios de temperatura interior del prototipo.

En la Fig. 4.35 se observa que las estrategias simuladas no logran porcentajes de horas de confort significativos, resultando que la estrategia fluctuaciones libres es la que tiene un 12% de horas de confort lo que demuestra la facilidad con que el prototipo eleva su temperatura interior y el nivel alcanzado.

La estrategia de masa térmica no logra efectos considerables sobre el comportamiento del prototipo como sí sucedía en el período caluroso anteriormente analizado.

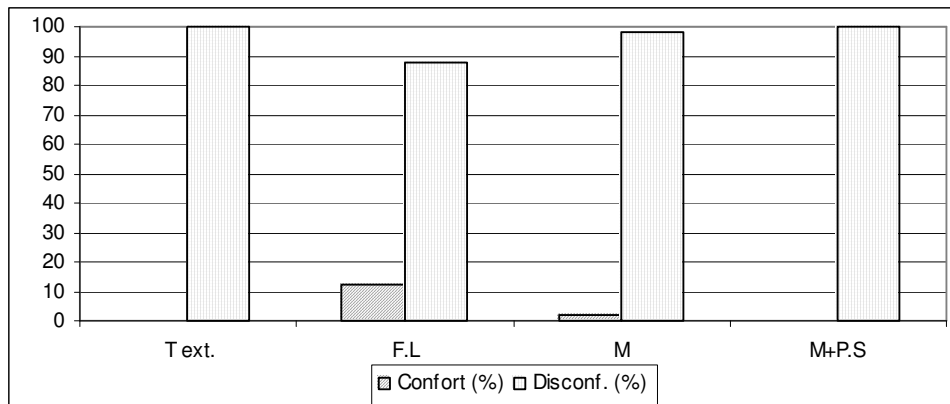


Fig. 4.35 Porcentajes de horas de confort y desconfort térmico de cada estrategia

Para determinar los consumos térmicos para calefacción y poder comparar las estrategias entre sí se calcularon los grados día tomando como base 18°C. de temperatura.

La tabla de la Fig. 4.36 indica que la estrategia que combina masa térmica con protección es la que necesita mayor cantidad de energía para calefacción (50 grados día) ya que la protección controla el ingreso de la radiación solar descendiendo, descendiendo por lo tanto las ganancias térmicas y resultando temperaturas interiores menores con respecto al prototipo en fluctuaciones libres.

Asimismo notamos que tampoco es muy significativa la diferencia entre las tres estrategias en cuanto al consumo en calefacción analizados mediante los grados hora, siendo nuevamente la estrategia masa térmica con protección la que necesita mayor cantidad de energía para calefacción (1204 grados hora) ver Fig. 4.37.

Estrategia	G.D (calefac)	G.H.(calefac.)
M+PV	50	1204
FL	46	1164
M	47	1133

Fig. 4.36 Cuadro con grados día y grados hora para cada estrategia

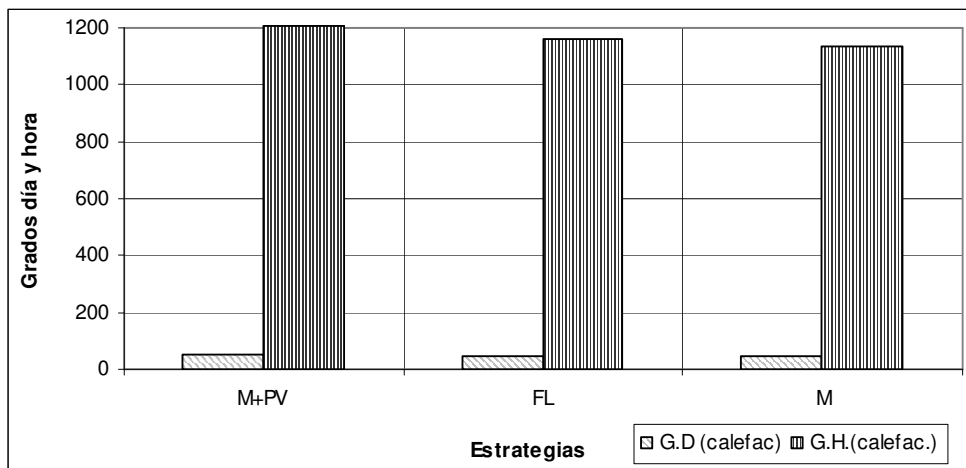


Fig. 4.37 Gráfica de grados día y grados hora según las estrategias para el período frío

#### 4.5. Comparación del prototipo liviano con un prototipo pesado

Se realizó la comparación mediante simulación del porcentaje de horas de confort y desconfort térmico y el consumo de energía de las distintas estrategias aplicadas al prototipo liviano respecto de un prototipo denominado pesado.

El prototipo pesado consiste en un local con iguales dimensiones que el prototipo liviano estudiado en el proyecto. Las paredes son de ladrillo macizo de 12cm.de espesor con aislante térmico de 3 cm. revocadas en ambas caras; su transmitancia térmica es de  $0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$  con una masa de  $234 \text{ kg/m}^2$ . El cerramiento horizontal está constituido por una losa de hormigón armado con 4 cm. de aislante térmico; su transmitancia térmica es de  $0.72 \text{ W/m}^2\text{K}$  con una masa de  $298 \text{ kg/m}^2$ .

La transmitancia térmica de paredes y techo en el prototipo liviano es de  $0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$  con una masa de  $48 \text{ kg/m}^2$ .

Se realizaron las simulaciones para las distintas estrategias aplicadas en el período caluroso y el período frío con las mismas semanas elegidas para el análisis del prototipo liviano.

##### Periodo caluroso

Para esa semana seleccionada fueron simuladas las siguientes seis estrategias para el prototipo pesado en estudio:

- 8) Protección solar en ventana norte (PV),
- 9) Fluctuaciones libres (FL),

- 10) Ventilación nocturna sin protección solar en ventana de 0 a 6 hs.(VN sin PV),
- 11) Ventilación nocturna con protección solar en ventana (VN+PV)
- 12) Ventilación diurna sin protección solar en ventana de 11 a 16 hs.(VD sin PV),
- 13) Ventilación diurna con protección solar en ventana (VD+PV)

Con los resultados horarios de temperatura interior simuladas se calcularon los porcentajes de horas de confort térmico (rango de 20 a 27°C) y disconfort térmico para cada estrategia aplicada al prototipo pesado.

Este análisis aportó los datos que se muestran en las Fig. 4.38. La estrategia que tuvo mayor porcentaje de horas dentro del rango de confort fue protección en ventana, con el 95%, mientras que en el exterior el porcentaje de horas de confort térmico es de 72% de las 192 horas simuladas.

Para las estrategias de ventilación nocturna y diurna, ambas con o sin protección, el programa evidencia no ser sensible a la hora en que se produce dicha ventilación; por lo tanto los datos obtenidos no permiten sacar conclusiones definitivas.

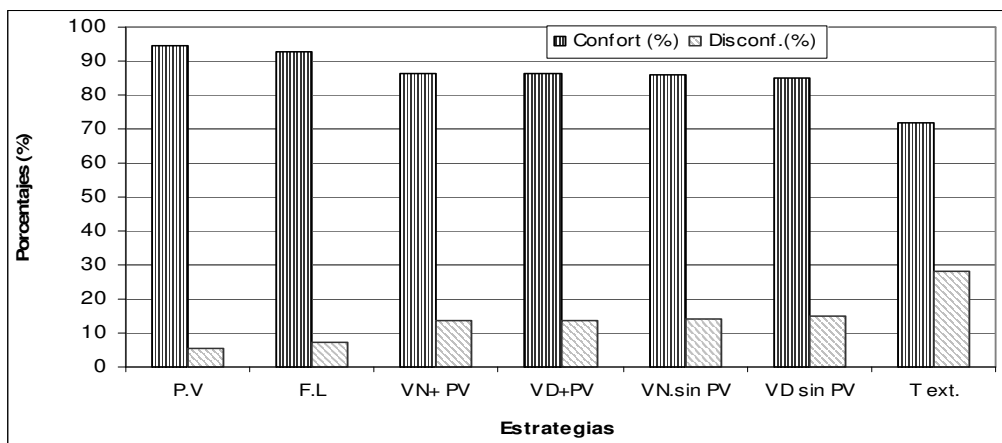


Fig. 4.38. Porcentajes de horas de confort y disconfort térmico según estrategias para prototipo pesado

Si comparamos los porcentajes de horas de confort térmico, según muestra la Fig. 4.39, se incrementa un 28% el porcentaje de horas de confort para la estrategia protección en ventana con el prototipo pesado ya que pasamos de un 67% de horas de confort en el prototipo liviano a un 95% en el pesado.

Mientras que en fluctuaciones libres el prototipo pesado incrementa 33% las horas de confort respecto al liviano lo que evidencia que la masa tiene un papel importante en el desempeño térmico en el período caluroso.

La ventilación, diurna y nocturna, presenta una mejora del 19% con respecto al prototipo liviano.

Estrategia	Prototipo Liviano		Prototipo Pesado	
	Confort (%)	Disconf.(%)	Confort (%)	Disconf.(%)
P.V	67.0	33.0	94.6	5.4
F.L	60.0	40.0	92.8	7.2
V.N.sin P.S	66.0	34.0	85.7	14.3
V.D.sin P.S	66.0	34.0	85.1	14.9
T ext.	72.0	28.0	72.0	28.0

Fig. 4.39. Cuadro comparativo de confort y disconfort térmico para prototipo liviano y pesado

En los cálculos de los Grados Día y Grados Hora para refrigeración, tomando como base 27°C para determinar los consumos de energía para cada estrategia, se aprecia un importante decrecimiento de los consumos.

## Capítulo 4:

Concretamente para los grados día se observa que todas las estrategias presentan un valor cero para las cargas de refrigeración. Mientras que en los grados hora la estrategia que consume más energía para refrigeración es la de ventilación diurna sin protección solar en la ventana con 11.5 grados hora. Esto es bastante lógico debido al aporte solar y al ingreso de aire caliente ( $t_e > 27^\circ\text{C}$ ) provocando el incremento de la temperatura interior del prototipo y por lo tanto el consumo de energía para descenderla (ver Fig. 4.40). La estrategia que consume menos energía para refrigeración es la del prototipo con protección solar, con 2.3 grados hora (ver Fig. 4.41).

Analizando los consumos totales que incluyen cargas térmicas para refrigeración y para calefacción apreciamos que las estrategias que consume más energía son la que utilizan ventilación diurna y/o nocturna sin protección solar (23.1 grados hora y 22.5 grados hora respectivamente). Las mismas estrategias pero con protección solar presentan 3 grados hora menos, reafirmando la importancia de las protecciones solares para reducir el consumo de energía y aprovechar el refrescamiento nocturno en el periodo caluroso.

Estrategia	G.D.(refrig.)	G.H.(calefac.)	G.H.(refrig.)	Totales (C+R)
VD.sin PV	0.0	11.6	11.5	23.1
VN.sin PV	0.0	11.6	10.9	22.5
VD con PV	0.0	12.5	7.6	20.1
VN con PV	0.0	12.5	6.9	19.4
FL	0.0	0.0	6.9	6.9
PV	0.0	0.0	2.3	2.3

Fig. 4.40 Grados día y grados hora según cada estrategia para el período caluroso

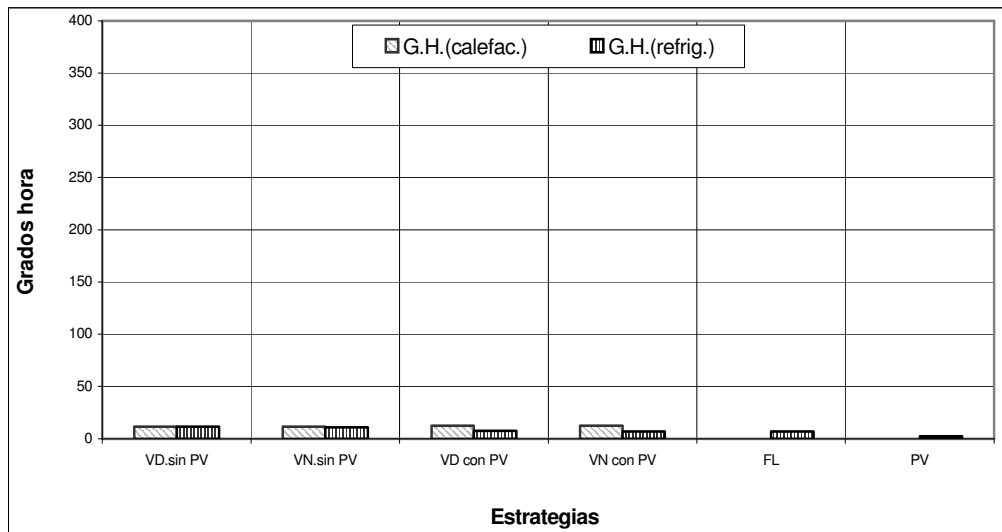


Fig. 4.41 Grados hora según las estrategias para el período caluroso

Podemos concluir que para un prototipo pesado la estrategia protección en ventana presenta el mejor desempeño térmico en el período caluroso, ya que tiene el porcentaje mayor de horas confort térmico y consume la menor cantidad de energía total. Este resultado es similar al obtenido con el prototipo liviano para el cuál la estrategia con mejor desempeño térmico era la que combinaba masa térmica con protección solar (ver la Fig. 4.42.)

Estrategia	Prototipo Liviano		Prototipo Pesado	
	G.H.(refrig.)	Totales (C+R)	G.H.(refrig.)	Totales (C+R)
VD.sin PV	172.8	178.8	11.5	23.1
VN.sin PV	178.9	185.4	10.9	22.5
VD con PV			7.6	20.1
VN con PV			6.9	19.4
FL	397.6	399.2	6.9	6.9
PV	198.2	202.6	2.3	2.3
M+P	50.7	50.9		

Fig. 4.42 Cuadro comparativo de consumos totales de refrigeración y calefacción para prototipo liviano y pesado

### Período frío

Para este período del año se seleccionaron los registros horarios de temperatura exterior correspondientes a ocho días (192 horas), resultando una semana con temperatura media de 10.7°C, máxima de 17.8°C y mínima de 6.0°C. Para esta semana seleccionada fueron simuladas las siguientes estrategias para el prototipo pesado en estudio:

- 1) Fluctuaciones libres (FL),
- 2) Protección solar en ventana norte (PV)

Se determinaron los porcentajes de horas de confort térmico (rango de 18 a 24°C) y desconfort térmico para cada estrategia elegida, en base a los resultados horarios de temperatura interior del prototipo. En la Fig. 4.43 se observa que las dos estrategias simuladas no logran horas de confort y al igual que las temperaturas exteriores presentan 100% de desconfort térmico. La estrategia de masa térmica no logra efectos considerables como si sucedía en el período caluroso anteriormente analizado.

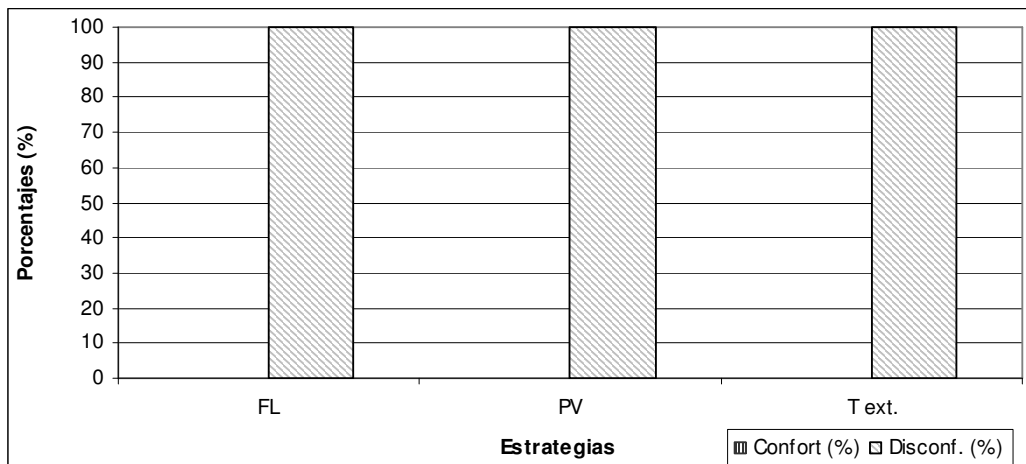


Fig. 4.43 Porcentajes de horas de confort y desconfort térmico de cada estrategia

De la comparación de los porcentajes de horas de confort térmico para el prototipo liviano (12%) y el pesado (0%) según muestra la Fig. 4.44, concluimos que no tienen diferencias significativas de comportamiento en el período frío.

Estrategia	Prototipo Liviano		Prototipo Pesado	
	Confort (%)	Disconf.(%)	Confort (%)	Disconf.(%)
FL	12	88	0	100
PV			0	100

Fig. 4.44 Cuadro comparativo para confort y desconfort térmico para prototipo liviano y pesado

Capítulo 4:

Para determinar los consumos térmicos para calefacción y poder comparar las estrategias entre sí se calcularon los grados día tomando como base la temperatura de 18°C.

Según las figuras 4.45 y 4.46 no existen diferencias significativas entre las dos estrategias para un prototipo pesado en el período frío. La estrategia protección en ventana norte es la que necesita más energía para calefacción (48 grados día y 1151 grados hora).

Estrategia	G.D (calefac.)	G.H.(calefac.)	Totales (C+R)
PV	48	1151	1199
FL	47	1122	1169

Fig. 4.45 Grados día y grados hora según las estrategias para periodo frío

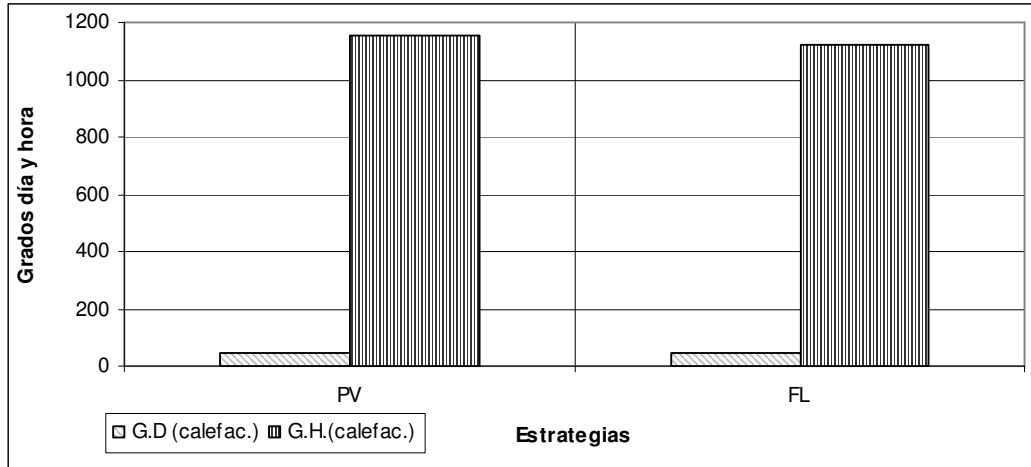


Fig. 4.46 Grados día y grados hora según las estrategias para el período frío

Podemos concluir que para un prototipo pesado la estrategia que consume la menor cantidad de energía para calefacción es fluctuaciones libres con 1169 grados hora totales. El resultado obtenido es similar al del prototipo liviano para el cuál se determinó que la estrategia con mejor desempeño térmico era la que incluía masa térmica (ver la Fig. 4.47)

Estrategia	Prototipo Liviano		Prototipo Pesado	
	G.H.(calefac.)	Totales (C+R)	G.H.(calefac.)	Totales (C+R)
PV			1151	1199
FL	1164	1164	1122	1169
M		1133		
M+P.S		1204		

Fig. 4.47 Cuadro comparativo de consumos totales de refrigeración y calefacción para prototipo liviano y pesado



#### 4.6 Consumo anual de energía eléctrica simulado según distintas estrategias

Se realizó la comparación del consumo anual total de energía para calefacción y refrigeración de la estrategia “protección en ventana” que en los estudios preliminares aparecía con menor consumo para el prototipo liviano. También se comparó el consumo anual del prototipo liviano con respecto al prototipo pesado aislado propuesto (ver capítulo 4.5),

	Prototipo liviano		Prototipo pesado	
	<i>Período frío</i>	<i>Período caluroso</i>	<i>Período frío</i>	<i>Período caluroso</i>
	Calefacción (KW)	Refrigeración (KW)	Calefacción (KW)	Refrigeración (KW)
Fluctuaciones libres (FL)	755	<b>544</b>	146	<b>120</b>
Protección en ventana (PV)	<b>911</b>	132	<b>150</b>	87

Fig. 4.48 Cuadro comparativo de consumo anual para el período caluroso y frío de distintas estrategias

##### Periodo caluroso

El prototipo liviano, en fluctuaciones libres, es el que presentó mayor consumo de energía para refrigeración, 544 KW (ver figura 4.48). Este valor es casi cinco veces superior que el del prototipo pesado aislado. Esto es coherente con lo analizado en el punto anterior que expresaba la necesidad de mayor cantidad de grados hora del prototipo liviano sobre el pesado.

Si agregamos la estrategia de protección en ventana en ambos prototipos (liviano y pesado) el consumo de energía para refrigeración desciende, siendo más significativo este descenso en el liviano (cuatro veces para el liviano y una vez y media en el pesado). De todos modos hay una diferencia de una vez y media entre el consumo del liviano y el pesado, teniendo menor consumo el prototipo pesado.

La energía que se gana incorporando la protección solar es menor por lo que se necesitará menos cantidad de energía para refrigeración. La diferencia del consumo de energía está dada por el comportamiento de los materiales ante la energía solar. Mientras que el prototipo pesado acumula calor y lo cede en el tiempo, el liviano se calienta rápidamente (elevando su temperatura en mayor grado). La alta resistencia térmica impide que esta energía se disipe rápidamente por lo tanto necesitará más energía y por más tiempo, de ahí las diferencias cuantitativas.

##### Conclusiones preliminares

El prototipo pesado consume menos energía para refrigeración que el liviano, con y sin protección solar. Si al sistema constructivo liviano se le incorpora una protección solar provocaría un descenso del consumo en refrigeración de casi cinco veces.

La utilización de esta estrategia en un prototipo pesado también llevaría a disminuir el consumo aunque en menor medida (1.5 veces).

##### Periodo frío

El prototipo liviano consume mayor cantidad de energía en calefacción. En promedio consumió casi seis veces más que el pesado (ver figura 4.48). El prototipo liviano no presenta ni amortiguación ni retardo térmico y se ve expuesto a la variabilidad exterior. Las condiciones climáticas en el período frío son más exigentes que en el caluroso, es decir que necesitamos más energía para poder alcanzar determinadas temperaturas de bienestar. El comportamiento del prototipo liviano debido está fuertemente influenciado por las condiciones exteriores (más

rigurosas en el período frío) lo que hace que consuma más energía que el pesado que logra controlar los flujos de calor en el tiempo.

Si a ambos prototipos se aplica la estrategia de protección en ventana, el mayor consumo de energía para calefacción lo registró el prototipo liviano con 911 KW, en comparación con los 755 KW necesario para el mismo en fluctuaciones libres. El prototipo pesado sin ninguna estrategia también consumió menos energía que aplicando la estrategia protección en ventana. Esta diferencia es menor, siendo 146 KW en fluctuaciones libres y 150 KW con protección.

Lógicamente si se coloca una protección solar el consumo de energía en calefacción es mayor debido a que disminuye la ganancia solar que ingresa al prototipo, por lo tanto para poder alcanzar determinadas temperaturas de confort necesitaría un mayor aporte adicional.

#### **Conclusiones preliminares**

El consumo de energía en calefacción es mayor en todos los casos que el de refrigeración. El prototipo liviano consume más energía para calefacción que el pesado. La estrategia protección solar determina un mayor consumo de energía, aunque esto es más significativo para el prototipo liviano.

#### **Conclusiones finales sobre consumo de energía anual**

Si consideramos los consumos anuales totales (calefacción y refrigeración) para cada prototipo estudiado, el prototipo pesado aislado consume aproximadamente cinco veces menos energía que el prototipo liviano en cualquiera de las dos situaciones consideradas.

Aplicando la estrategia de protección en ventana para el prototipo liviano y para el pesado, ambos presentan un descenso en el consumo de energía anual con respecto a fluctuaciones libres. Dejando en claro que el descenso de consumo para refrigeración se hace mas notorio en el prototipo liviano (4 veces menos).

## Conclusiones

---

De acuerdo al fundamento teórico manejado en el proyecto, las características climáticas de una localidad tienen correlación con determinadas estrategias de diseño pasivas. Este modo de adaptación de la edificación al clima permite alcanzar niveles de confort con menor consumo de energía no renovable. Para el caso de la ciudad de Montevideo, por tratarse de clima templado con influencia marítima, se recomiendan diferentes estrategias sea que se trate de atender los requerimientos del período frío y/o del caluroso. Pero en ambos casos se presenta adecuada la estrategia que combina masa térmica + aislamiento térmico lo que induce a la inercia térmica del sistema.

De la revisión bibliográfica se evidencia la importancia del aislamiento térmico como estrategia para el control del clima interior y el consumo de energía en climas fríos, pero se plantea que esta estrategia resulta insuficiente para evitar problemas de sobrecalentamiento en climas más cálidos, aunque se la asocie a estrategias de protección solar y ventilación (Karlsson y Moshfegh). Asimismo las investigaciones han mostrado la importancia de la masa térmica para el almacenamiento de energía a los efectos de manejar flujos de energía en el tiempo y el espacio en climas cálidos (Givoni; Lavigne; Ahmad).

Sin embargo se encontró que son pocas las investigaciones de campo sobre uso de inercia térmica en zonas de clima templado, con entradas de frentes fríos.

El objetivo inicial de profundizar en el conocimiento de desempeño de construcciones livianas y aportar criterios de diseño para adecuar su respuesta a nuestra situación climática, nos llevó a:

- Estudiar y evaluar el comportamiento térmico y energético de un prototipo liviano construido con una tecnología producida en nuestro medio (isopaneles).
- Determinar la influencia de distintas estrategias pasivas de diseño sobre el comportamiento del prototipo.
- Compararlo con el comportamiento térmico y energético de un prototipo basado en un sistema constructivo convencional.

Se caracterizó el desempeño del prototipo en función de la temperatura interna para cada estrategia aplicada. La evaluación se realizó analizando la oscilación de la temperatura interior (valores máximos y mínimos y retraso respecto a la exterior) y el consumo anual de energía para las condiciones de clima templado.

Esta evaluación se realizó tanto por estudio experimental (monitoreo de temperaturas a lo largo de un año) como por simulación computacional.

Los datos registrados en campo corresponden a cada estrategia aplicada, de a una por vez y a sus combinaciones, de acuerdo a la época del año. La investigación de campo manifestó algunos problemas derivados, especialmente, de la variabilidad de los datos exteriores y del hecho de no contar con dos prototipos iguales que permitiera contrastar cada caso estudiado con el modelo en su situación inicial, sometidos ambos a la misma condición exterior e interior simultáneamente. Esta situación llevó al tratamiento extenso de los datos registrados para homogeneizarlos a los efectos de poder correlacionar resultados.

Una vez seleccionado el programa de simulación computacional que mejor se correlacionó con los resultados del monitoreo, se utilizó esta herramienta para comparar las distintas opciones planteadas, dado que se pudo trabajar con la misma base de datos de condiciones exteriores

De acuerdo a las preguntas planteadas en la formulación del proyecto, los resultados obtenidos permiten responder a los siguientes interrogantes:

¿Qué programas de simulación responden más ajustadamente al comportamiento térmico del sistema estudiado?

Las correlaciones entre monitoreo y simulación permitieron establecer que los dos programas detallados manejados, Simedif y Energy Plus, predicen el comportamiento de una construcción liviana con mayor ajuste que los programas simples. Se optó por trabajar sólo con Simedif, porque sus resultados de simulación son muy similares a los valores medidos, mostrando que el modelo responde a los cambios de las condiciones exteriores en forma similar al objeto real

pero no es su imagen perfecta. Además se tiene más experiencia en su manejo, lo que introduce menos incertezas en los resultados.

- ¿Cómo responden las construcciones livianas a las condiciones climáticas de nuestro país?
- ¿Cuál es la influencia de la resistencia térmica sobre las condiciones de temperatura interior en un sistema constructivo liviano?
- ¿Cuánta energía se consume para mantener condiciones de confort durante todo el año y estacional, de acuerdo a la resistencia térmica del sistema?
- ¿Cómo se comportan en comparación con las construcciones convencionales de determinada resistencia y capacidad térmica?

El prototipo estudiado (PT1) presenta como principal característica el aislamiento térmico con un valor de transmitancia térmica  $U = 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$  pero no tiene capacidad de almacenamiento térmico ya que su capacidad térmica es sólo de  $10 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ .

Esta característica influye sobre la oscilación de temperatura y sobre el retraso térmico sobre las horas de confort - disconfort y el consumo de energía.

Conforme a la evaluación del comportamiento del prototipo, se observa que una construcción liviana presenta una oscilación de la temperatura interior mayor que la exterior a lo largo del año. La situación deseable es la opuesta, es decir que el clima interior esté más controlado que el exterior o que varíe menos. La mayor amplitud térmica interior es producto del incremento de la temperatura una vez que el prototipo comienza a ganar energía por aporte solar y flujos de calor. Esto se debe a la poca capacidad del sistema de controlar los flujos de calor en el tiempo (acumular energía o cederla al ambiente de acuerdo a las necesidades) y a la baja disipación de calor dada por su alta resistencia térmica.

Esta situación determina que en el período caluroso la temperatura interior supere el valor máximo del rango de confort establecido durante muchas horas del día. También para el período frío la temperatura interior se mantiene fuera del rango de confort, pero en este caso el problema son las mínimas.

De acuerdo a este comportamiento, en ambos períodos necesita energía adicional para conseguir condiciones de confort. La evaluación realizada muestra que el prototipo liviano consume cinco veces más energía para calefacción y cuatro veces y media más energía para refrigeración que una construcción convencional, pesada y con aislamiento térmico (PT2).

La construcción convencional (PT2) considerada tiene una transmitancia media de paredes y techos de  $U = 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$  y una capacidad térmica de  $280 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ . Este tipo de construcciones mantiene condiciones internas más estables a lo largo del día y del año, por lo que la temperatura interior oscila menos y se desfasa respecto a la temperatura exterior.

Esta comparación ha permitido comprobar, para clima templado, que el uso de la inercia térmica (masa térmica aislada del medio exterior) sirve para aprovechar el calentamiento pasivo en el período frío y es fundamental para optimizar el efecto del refrescamiento pasivo en el período caluroso, reduciendo el consumo de energía no renovable.

## 5.1. Recomendaciones para el diseño

¿Cómo diseñar para el régimen climático local sobre la base de un sistema constructivo liviano de modo que la edificación responda a condiciones de confort?

A los efectos de manejar las cargas térmicas en una construcción liviana, se aplicaron distintas estrategias de diseño pasivas al prototipo para hacer que interactuara de forma más confiable con el sistema energético circundante y lograr así un mejor andamiaje de las temperaturas internas y menor consumo de energía.

Período caluroso

A la situación inicial (aislamiento) se asocian masa térmica y protección solar (M+P). Los resultados muestran que se reducen los picos máximos de temperatura interior y su oscilación

y el consumo de energía para refrigeración, respecto al prototipo liviano. Asimismo permite aumentar las horas de confort interior.

A estas estrategias se puede asociar ventilación natural (M+P+V) siempre que se realice en las horas de mayor potencial de refrigeración del aire exterior ( $t_e < 27^\circ\text{C}$ ).

El prototipo con estas nuevas características (alto grado de aislamiento térmico  $U = 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$ , mayor capacidad térmica interior  $CT = 110 \text{ KJ/m}^2\text{K}$  y protección solar en ventana) presenta mayor oscilación de temperatura y mayor consumo de energía en verano que el prototipo pesado (PT2).

*Esta conclusión confirma la idea de que el tratamiento a aplicar sobre una edificación de estas características [sin inercia térmica] para el período caluroso es complejo y seguramente integral (Yarke et al, 2006).*

#### Período frío

El prototipo liviano sin modificaciones logra similar desempeño térmico y energético que el prototipo al que se agregó masa térmica interior. Es decir, son similares tanto el andamio de temperaturas y el porcentaje de horas de confort, como el consumo de energía para calefacción.

Por lo tanto la inclusión de masa térmica sólo en el piso no modifica sustancialmente su comportamiento en el período frío, como sí sucedía en el caluroso.

El sobrecalentamiento es un problema solamente en algunos lapsos cortos, pero puede ser manejado con ventilación natural controlada y/o protección solar.

El prototipo liviano (alto grado de aislamiento térmico  $U = 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$ , con o sin mayor capacidad térmica interior  $CT = 110 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ ) también presenta mayor oscilación de temperatura y mayor consumo de energía en invierno que el prototipo pesado (PT2).

En resumen, los resultados de esta investigación ofrecen una orientación:

**La integración de estrategias combinadas consigue los mejores resultados en ambos aspectos estudiados, térmico y energético, a los efectos de mejorar el comportamiento de una construcción liviana** sometida a las condiciones climáticas locales.

Sin embargo estos resultados aún no son satisfactorios en cuanto a los rangos en que se mueven los parámetros considerados (temperatura interior, horas de confort, consumo de energía)

Se debe lograr un compromiso entre costo, posibilidades del sistema, ahorro de energía, confort en invierno y verano y estética.

## 5.2. Recomendaciones para futuras investigaciones

Estos estudios constituyen la primera etapa en mejoramiento de las construcciones livianas, a los efectos de obtener cierto acondicionamiento del aire interior por medios pasivos y especialmente reducir el sobrecalentamiento de los edificios en verano.

Se demuestra la complejidad para lograr que las temperaturas interiores se mantengan dentro de la zona de confort en un prototipo de baja inercia térmica sometido a un clima templado, utilizando únicamente las estrategias de diseño pasivas tal cual fueron implementadas.

Los próximos pasos incluyen:

Estudio detallado de la Resistencia (R) y Capacidad térmica (CT) de distintos componentes de la edificación (techo, piso, pared) y su influencia sobre la temperatura interior y el consumo de energía, de modo de ajustar la recomendación de dónde es más efectiva su colocación, así como valores mínimos de R y CT.

## Capítulo 5:

Investigación por simulación computacional de la influencia de la relación Área vidrio / Área expuesta y Área vidrio/Volumen por orientación, sobre la temperatura interior y el consumo de energía en construcciones livianas.

Profundizar en el conocimiento sobre materiales con cambio de fase, a los efectos de evaluar su influencia sobre el comportamiento térmico de construcciones livianas, las posibilidades tecnológicas de producir componentes constructivos que contengan este material y los costos.

Perfeccionar el manejo y las posibilidades de aplicación del programa de simulación Energy Plus ya que durante el desarrollo del proyecto no se lograron los ajustes necesarios, para las posibilidades que ofrece como herramienta.

Avanzar en el estudio y simulación de la ventilación natural.

Continuar las investigaciones sobre cómo los ocupantes usan el edificio y la energía para contribuir con datos más reales a la simulación computacional, dada la complejidad y costos de los estudios experimentales.

## Bibliografía

---

- ALMAY, A. (1978). Efecto térmico de los materiales. Departamento de Arquitectura. Facultad de Construcciones. Cuba.
- ANDRADE, S. F. (1996). Estudio de estrategias no clima de Florianópolis. Florianópolis. Tesis de Maestría, Universidad Federal de Santa Catalina.
- BUENO, et all. (2006). Análise comparativa na simulacao de modelo habitacional nos softwares Energy Plus e Tas. Anales de XI Entac 2006. Florianópolis, Brasil
- CHAUVIE, V. (2006). Evaluación del desempeño térmico de sistemas constructivos no convencionales en viviendas sociales para el clima de Montevideo. Tesis de Maestría, UPM, Madrid, España.
- CHAUVIE, V.(2003). Selección de programas para la predicción del comportamiento térmico de edificios. Informe final. Montevideo.
- CRAWLEY, D et all (2001). Energy Plus: creating a new generation building energy simulation program. Energy and Buildings Vol. 33,4; 319-331.
- DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA (2006). Energy Plus versión 1.3. Software.
- DE ALMEIDA, P et all (2007). Energy efficient building design using sensitivity analysis. A case of study. Energy and Buildings Vol. 39,1;23-31
- DE WIT S. et all. (2002). Analysis of uncertainty in building design evaluations and its implications. Energy and Buildings Vol. 34,9; 951-959.
- DIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA, (1996) Normales Climatológicas, Uruguay.
- FLORES LARSEN et all (2001). Simedif, Software. Desarrollado por el Instituto de Investigación en Energía no convencional, Universidad Nacional de Salta. Argentina.
- GIVONI B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings. Vol. 18,1;11-25.
- GIVONI B. (1976) Man, Climate and Architecture. Building Research Station Technion, Israel of Technology. Second edition. Londres.
- GARDE F. et all. (2004). Implementation and experimental survey of passive design specifications used in low-cost housing under tropical climates. Energy and Buildings Vol. 36,4, 353-367.
- HERNÁNDEZ A. y LESINO. G. (1993). Análisis de la performance térmica de un prototipo de vivienda liviana: monitoreó y simulación macrodinámica. Parte 1. ASADES 16; 167-174.
- JUDKOFF, R. y NEYMARK, J. (1995). International Energy Bulding Energy Simulate Test (BESTEST) and diagnostic Meted. Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica.
- KARLSSON, M. (2006). Energy demand and indoor climate ina low energy building. Energy and Buildings. Vol. 38;315-326
- KOSSECKA, E AND KOSNY, J.(2002). Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continously used building. Energy and Buildings. Vol. 34; 321-333.

- LABEEE, (2004). Analysis Bio 2.1.2. Software.
- LAVIGNE P. (2003). Arquitectura Climática. Volumen 1 “Bases físicas” y Volumen 2 “Conceptos y dispositivos”. Universidad Nacional de Talca, 1ª edición.
- LINDBERG R. et all. (2004). Five-year data of measured weather, energy consumption and time-dependent temperature variations within different exterior wall structures. Energy and Buildings Vol 36,6;495-503.
- LOMAS K. y EPEL H. (1992) Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. Energy and Buildings 19,1, 21-45.
- PAPST, Ana Ligia. (1999). Uso de inercia térmica en el clima subtropical. Estudio de caso para Florianópolis.49-52.Tesis de maestría.
- PAPST, Ana Ligia. (2004). Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso. Tesis de doctorado.
- PICCIÓN A. y Milicua S. (2005). Tratamiento de datos climáticos de localidades de Uruguay para evaluación térmica y energéticos de proyectos y edificios. Montevideo.
- PICCIÓN, A; CAMACHO, M; LÓPEZ SALGADO, M. Y MILICUA, S. (2006) “Evaluación del desempeño térmico de verano de un prototipo liviano para la situación climática de Uruguay implementación de estrategias de diseño bioclimáticas”. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 10. ISSN 0329-5184.
- RAICHIJK, C; GROSSI GALLEGOS, H. RIGHINI, R. (2006). Análisis de los datos de heliofanía en la República Oriental del Uruguay. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 10. ISSN 0329-5184.
- RIVERO, R. (1988). Arquitectura y Clima. Acondicionamiento Térmico Natural.
- RORIZ, M. (1996). Conforto Térmico em edificações: un modelo matemático e uma aplicação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Sao Paulo.
- SERRA, R. y COCH, H. (1996) El Disseny energetic a l'arquitectura. Quaderns d'Arquitects. Edicions UPC.
- SNEDECOR, G. y W. COCHRAN (1984). Métodos Estadísticos. CECSA, México.
- SOGARI et all (2006) “Análisis del comportamiento térmico de un prototipo de vivienda familiar de madera”, en Revista de Asades 2006, vol. 10, Bueno Aires, Argentina.
- STAMPER, E. (1977). Weather data . Ashrae Journal.
- UNIVERSIDAD DE OSLO, (2006). PAST, software.
- YANAS, S. y MALDONADO, E, eds (1995). Designing for summer comfort. Architectural Graduate School, Londres. Cap 4: Thermal Inertia.
- YARQUE, (2004). Edusolar Software.
- YARKE, E. et all (2006) “Evaluación energética de las primeras mejoras constructivas realizadas sobre un laboratorio de la Universidad Nacional de Lujan”, Revista de Asades 2006, vol. 10, Argentina.
- YOUMING, C et all (2006). Verification for transient heat conduction calculation of multilayer building constructions. Energy and Buildings Vol. 38,4; 340-348

### Páginas Web

<http://www.arqcon.com.ar/pprof/ppglosario.htm>

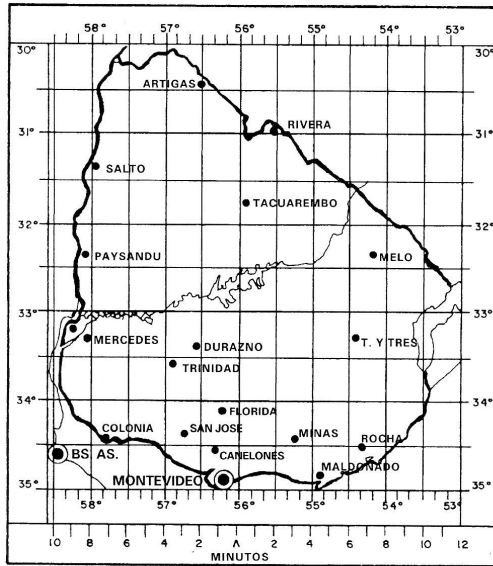
<http://www.arquisolar.com.ar/html/notas/inercia.htm>



**Anexos I**

Ecuación para la determinación de la hora legal

**URUGUAY: LATITUDES Y LONGITUDES**



**HORA SOLAR Y HORA LEGAL**

$$\text{HORA SOLAR} = \text{HORA LEGAL} - (E' + E'')$$

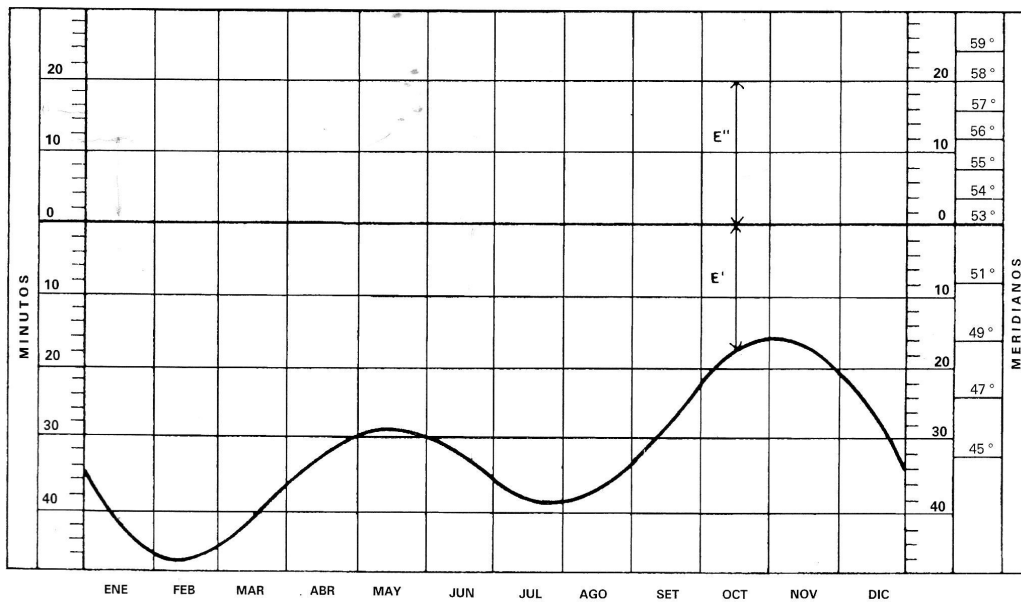


Fig 7.1.1. Determinación hora solar

## Anexos II

### Datos registrados interiores y exteriores

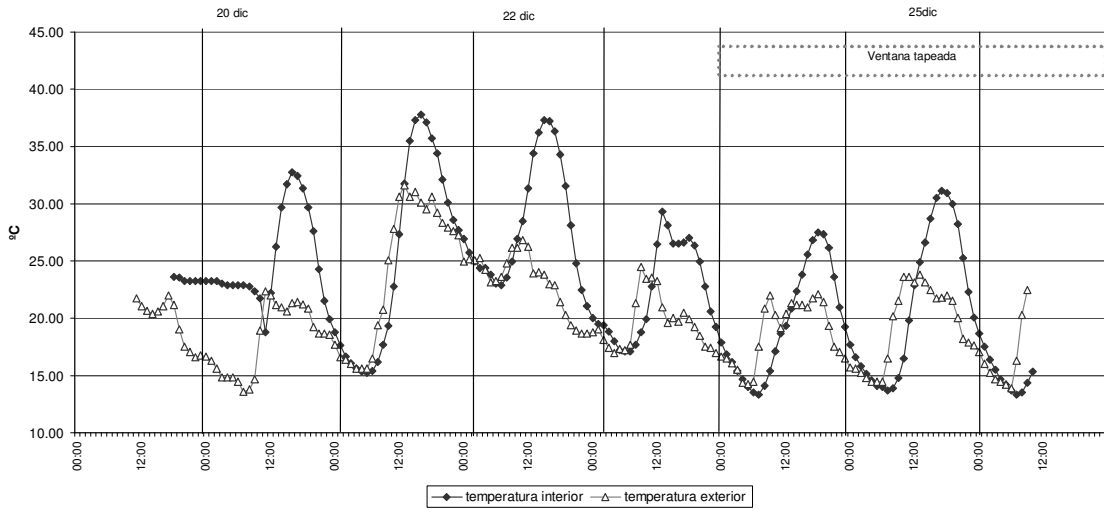


Fig.7.II.1: Temperatura exterior e interior horaria con libre fluctuaciones y ventana tapeada. Semana 1: del 19 de diciembre al 26 de diciembre de 2005.

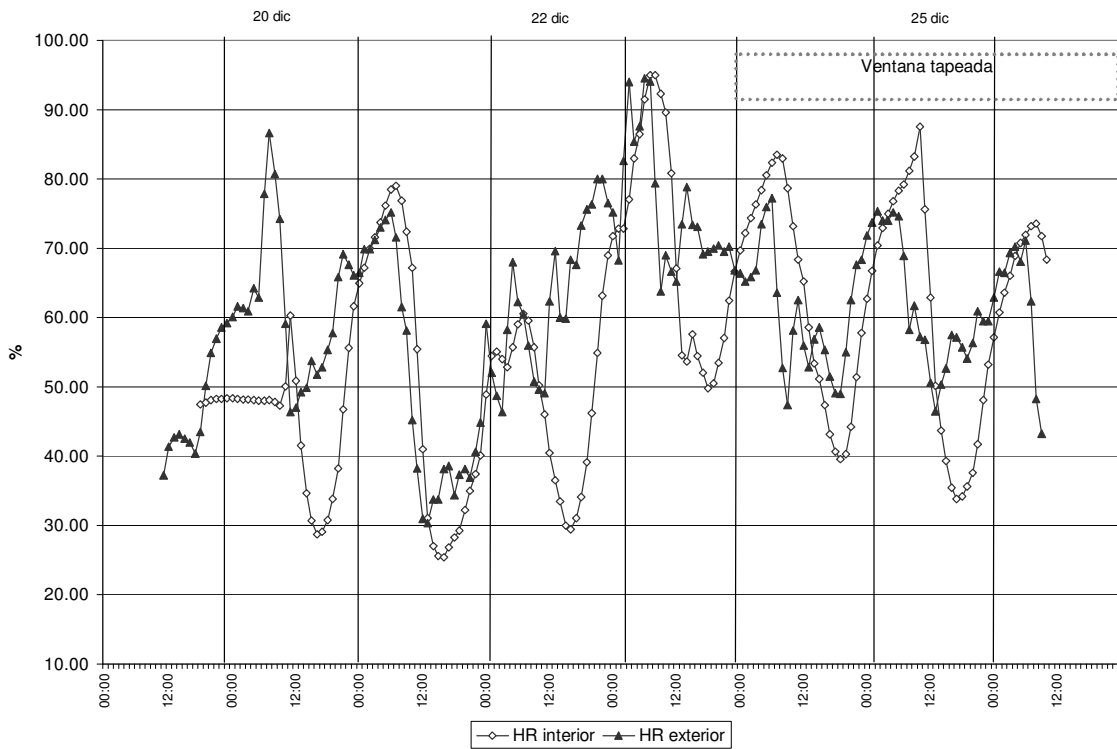


Fig.7.II.2: Humedad relativa exterior e interior horaria con libre fluctuaciones y ventana tapeada. Semana 1: del 19 de diciembre al 26 de diciembre de 2005.

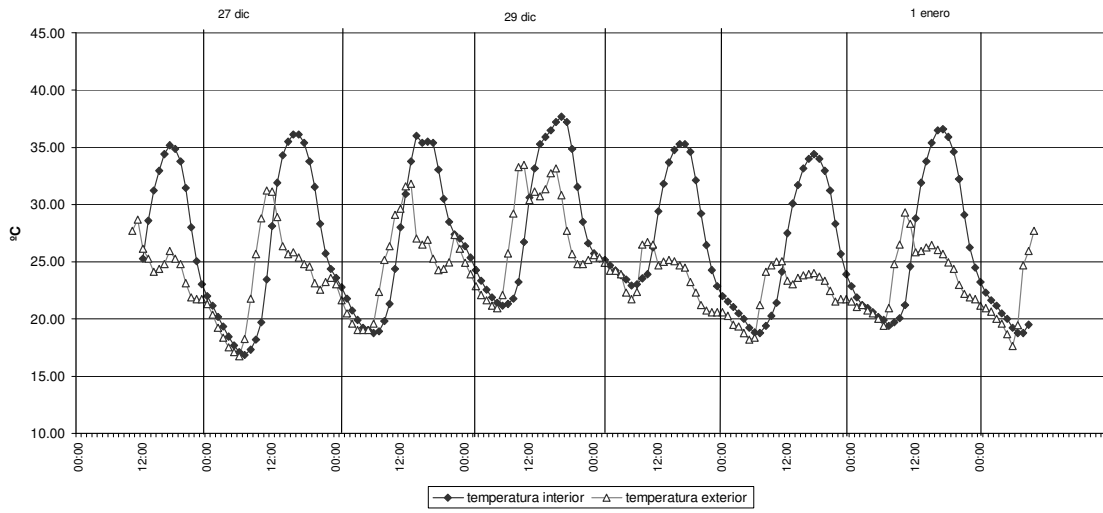


Fig.7.II.3: Temperatura exterior e interior horaria con protección en techo y ventana. Semana 2 del 26 de diciembre al 2 de enero de 2006

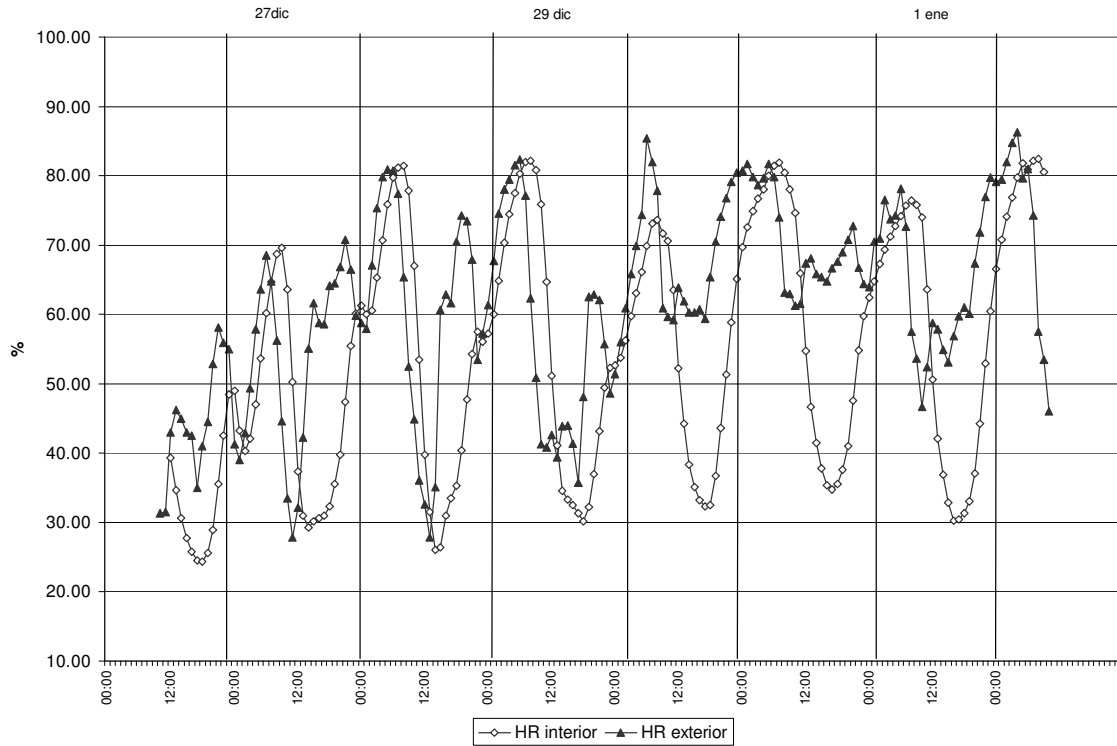


Fig.7.II.4: Humedad relativa exterior e interior horaria con protección en techo y ventana. Semana 2: del 26 de diciembre al 2 de enero de 2006

Capítulo 7:

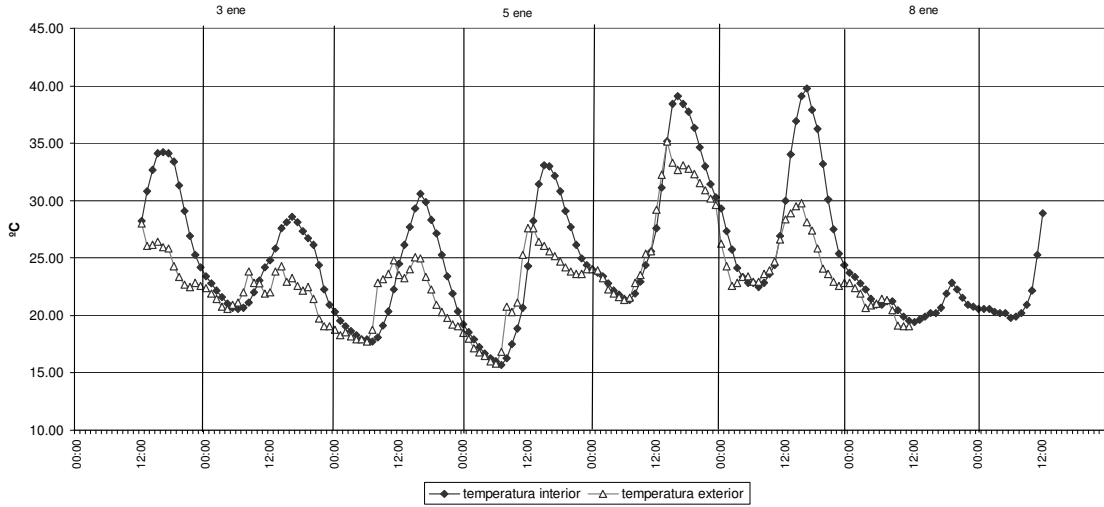


Fig.7.II.5: Temperatura exterior e interior horaria con protección en ventana. Semana 3: del 2 de enero de 2006 al 9 de enero de 2006

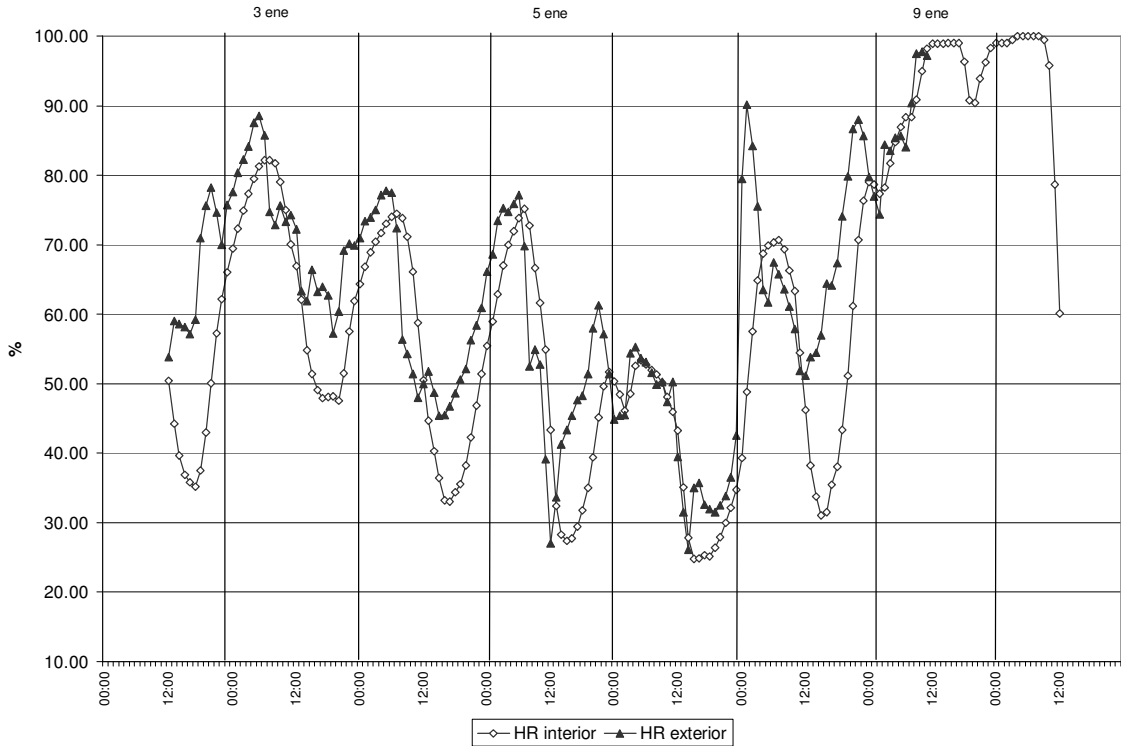


Fig.7.II.6: Humedad relativa exterior e interior horaria con protección en ventana. Semana 3: del 2 de enero de 2006 al 9 de enero de 2006

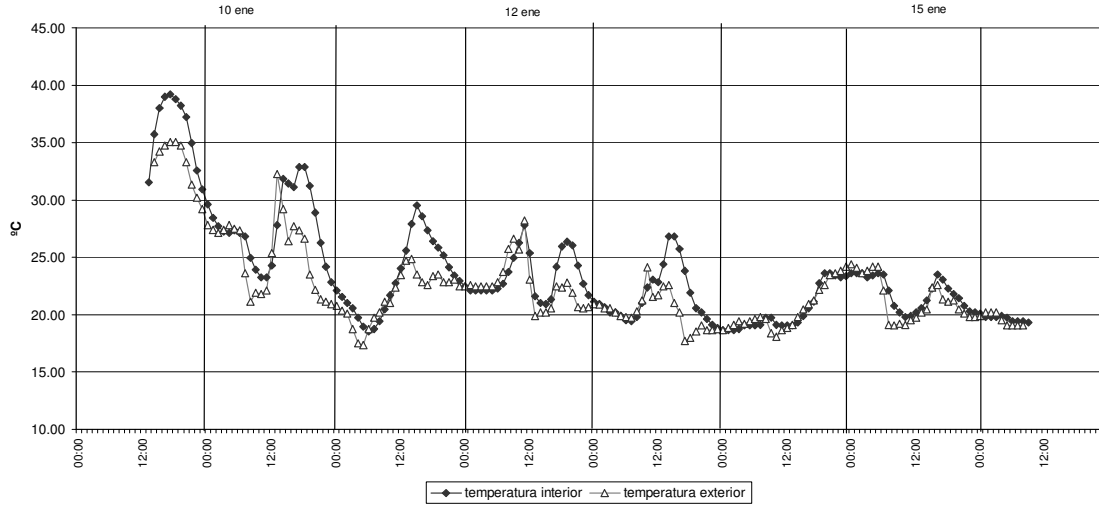


Fig.7.II.7: Temperatura exterior e interior horaria con ventilación diurna. Semana 4: del 9 de enero al 16 de enero de 2006

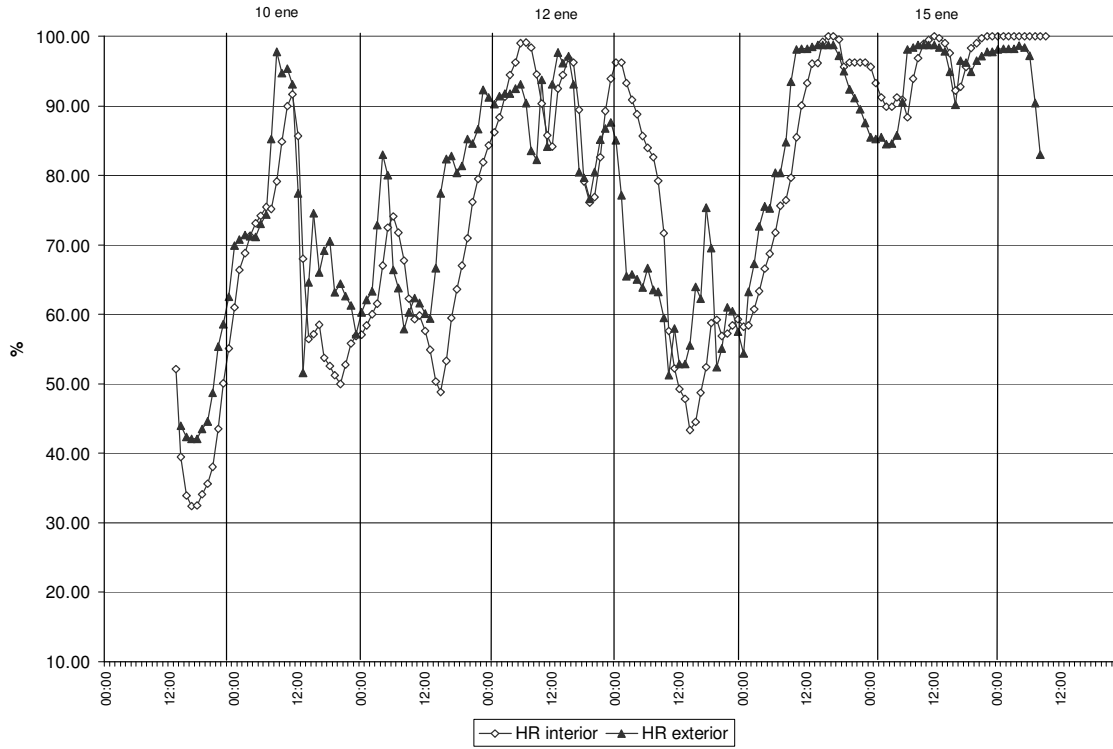


Fig.7.II.8: Humedad relativa exterior e interior horaria con ventilación diurna. Semana 4: del 9 de enero al 16 de enero de 2006

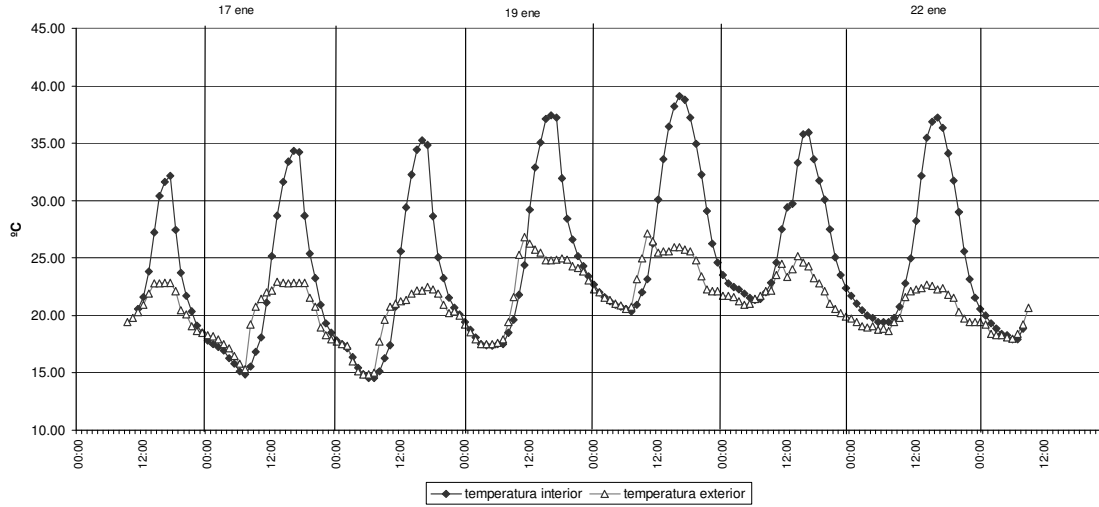


Fig.7.II.9: Temperatura exterior e interior horaria con ventilación nocturna. Semana 5: del 16 de enero al 23 de enero de 2006

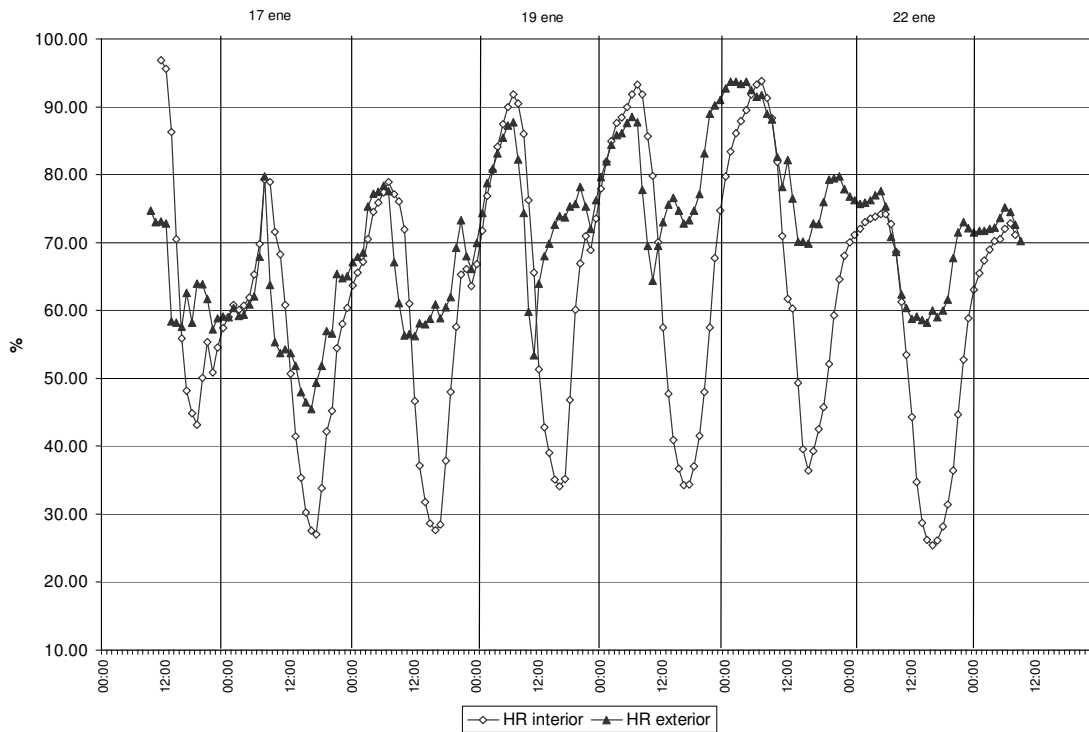


Fig.7.II. 10: Humedad relativa exterior e interior horaria con ventilación nocturna. Semana 5: del 16 de enero al 23 de enero de 2006

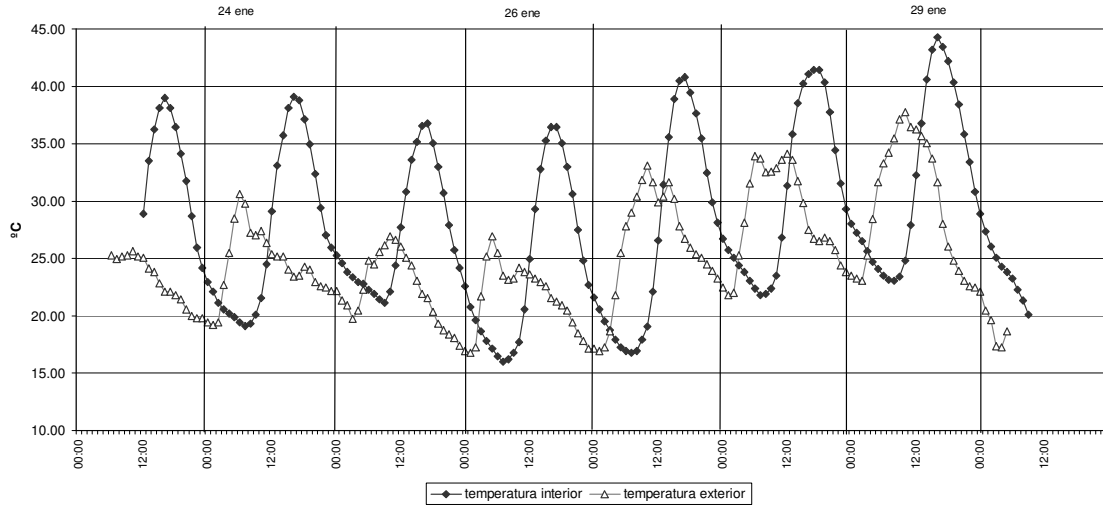


Fig.7.II.11: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica (9 ticholos). Semana 6: del 23 de enero al 30 de enero de 2006

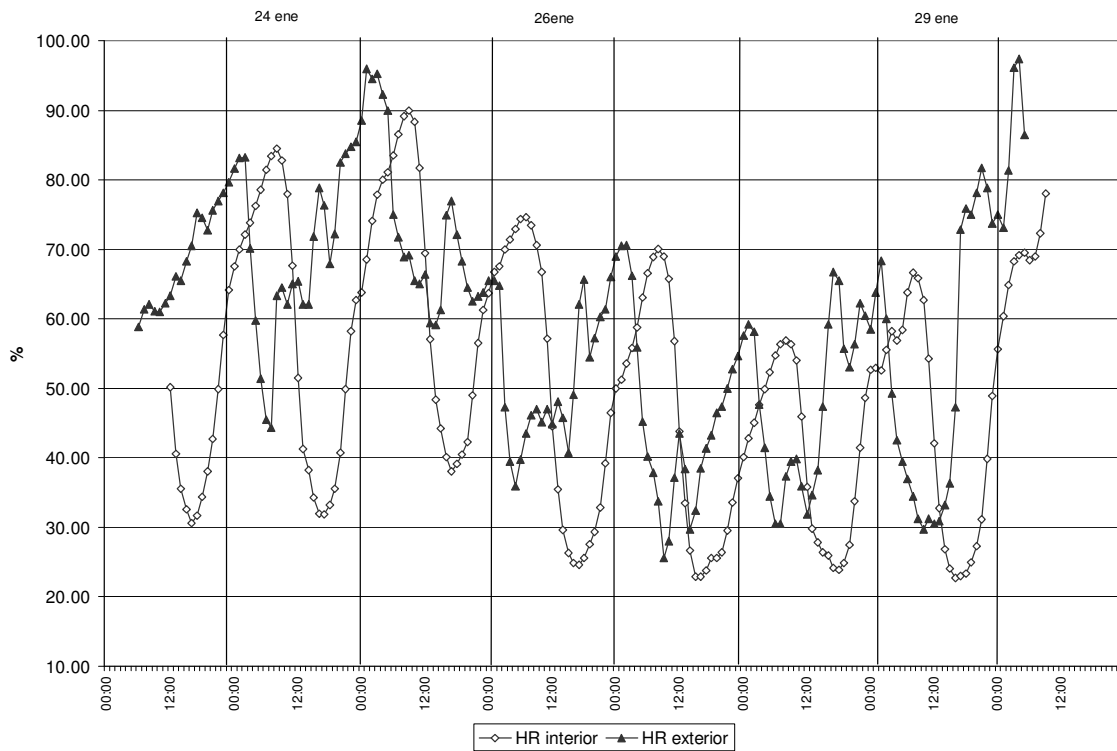


Fig.7.II.12: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica (9 ticholos). Semana 6: del 23 de enero al 30 de enero de 2006

Capítulo 7:

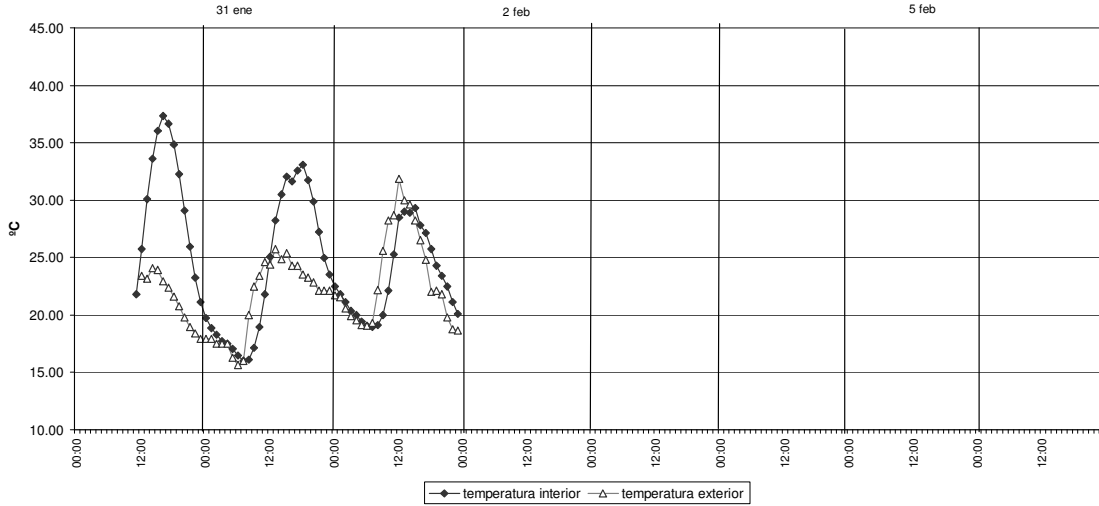


Fig.7.II.13: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica (9 ticholos). Semana 7: del 30 de enero al 6 de febrero de 2006

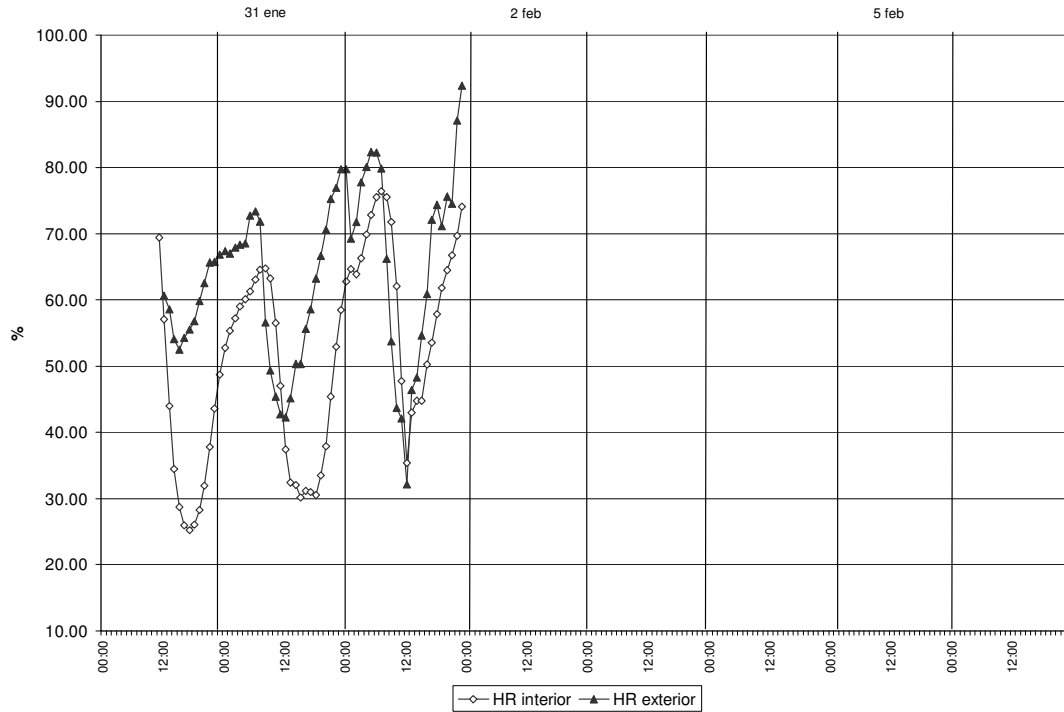
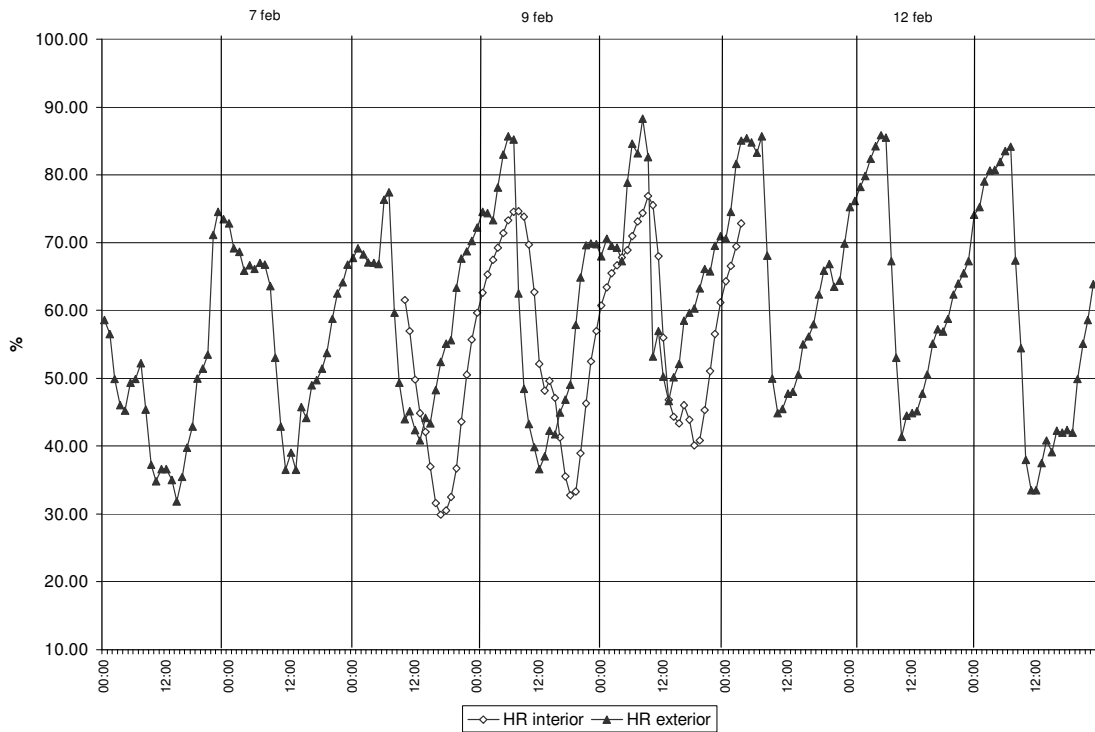
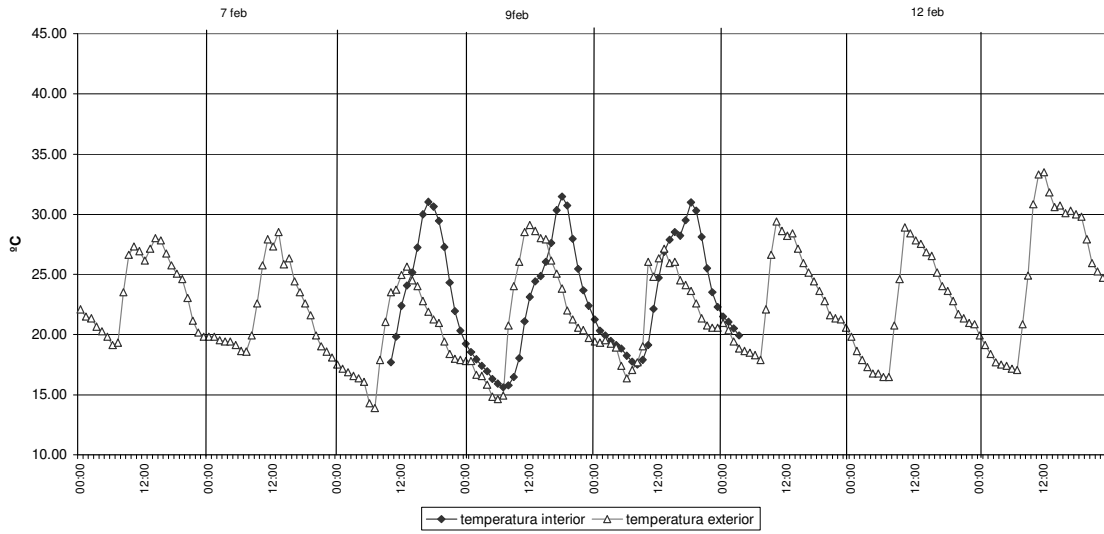


Fig.7.II.14: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica (9 ticholos). Semana 7: del 30 de enero al 6 de febrero de 2006





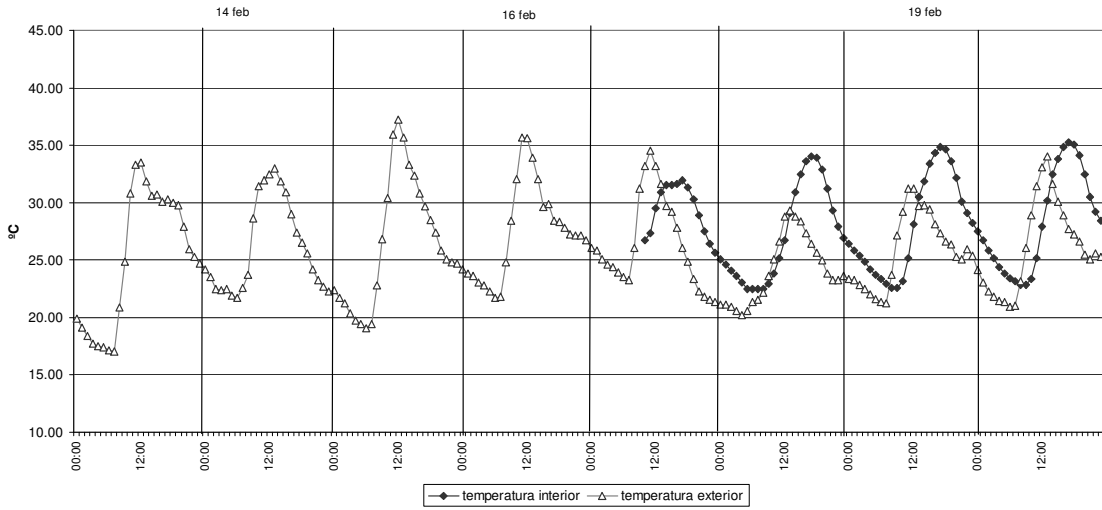


Fig.7.II.17: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica y protección solar. Semana 9: del 13 de febrero al 20 de febrero de 2006

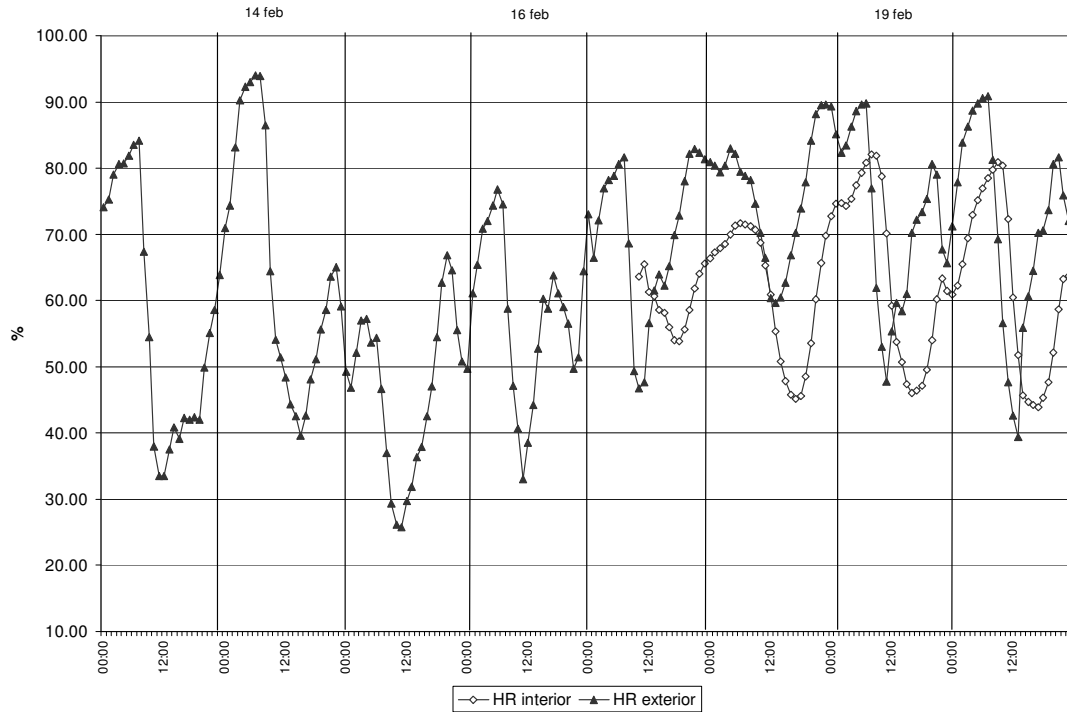


Fig.7.II.18: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica y protección solar. Semana 9: del 13 de febrero al 20 de febrero de 2006

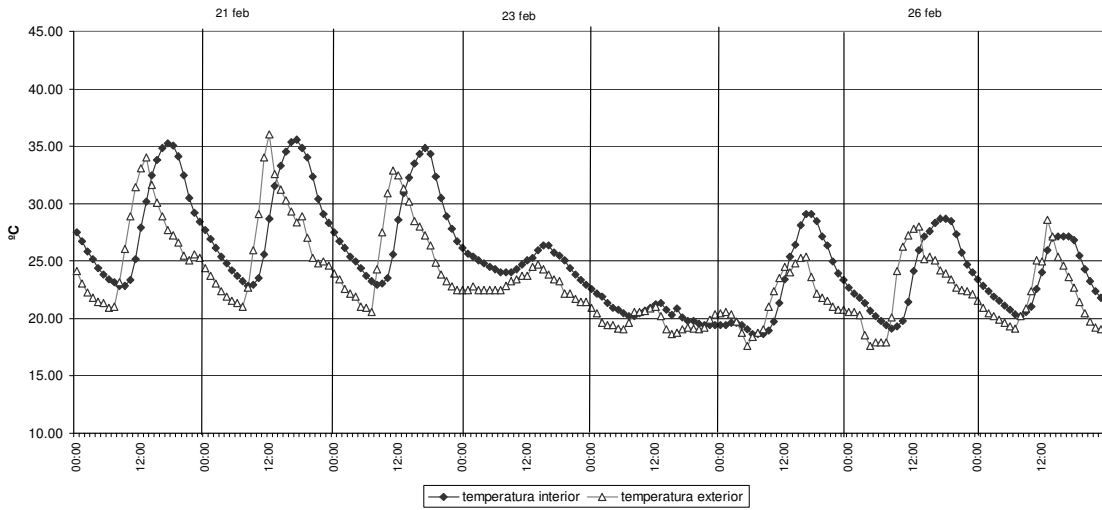


Fig.7.II.19: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 10: del 20 de febrero al 27 de febrero de 2006

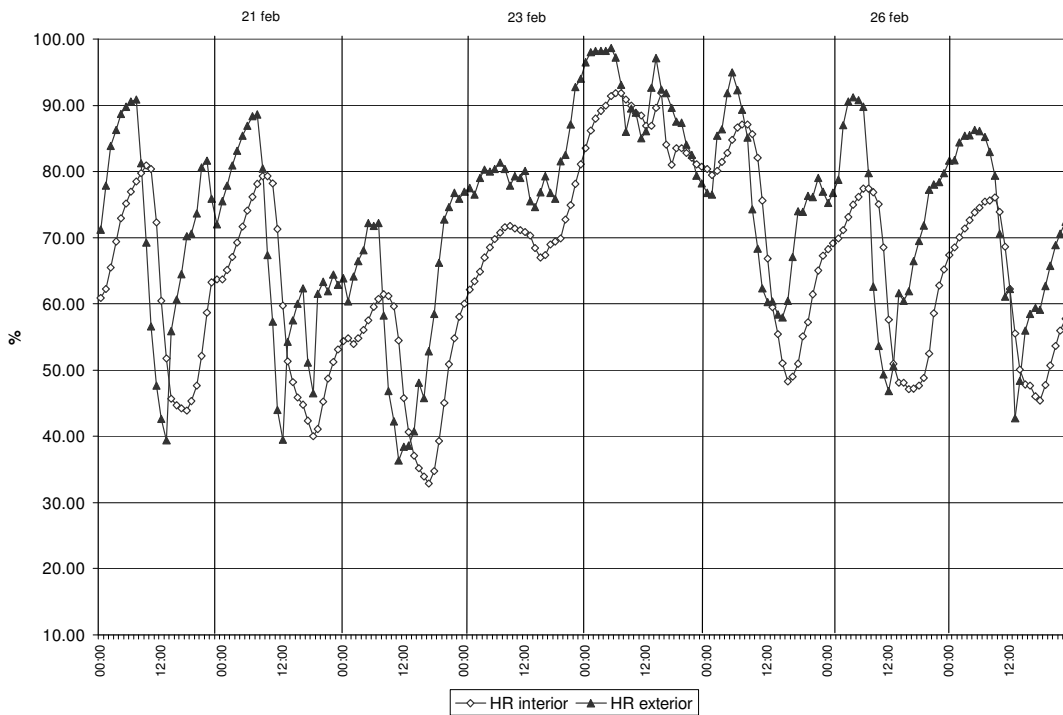


Fig.7.II.20: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 10: del 20 de febrero al 27 de febrero de 2006

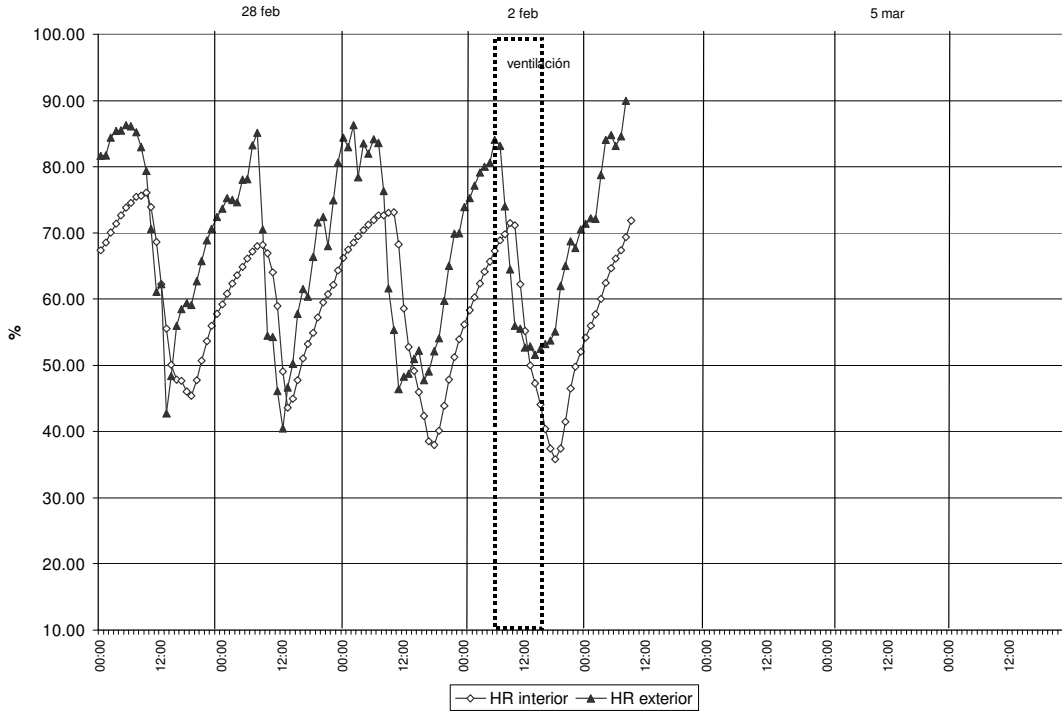


Fig.7.II.21: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica, protección y ventilación. Semana 11: del 27 de febrero al 6 de marzo de 2006

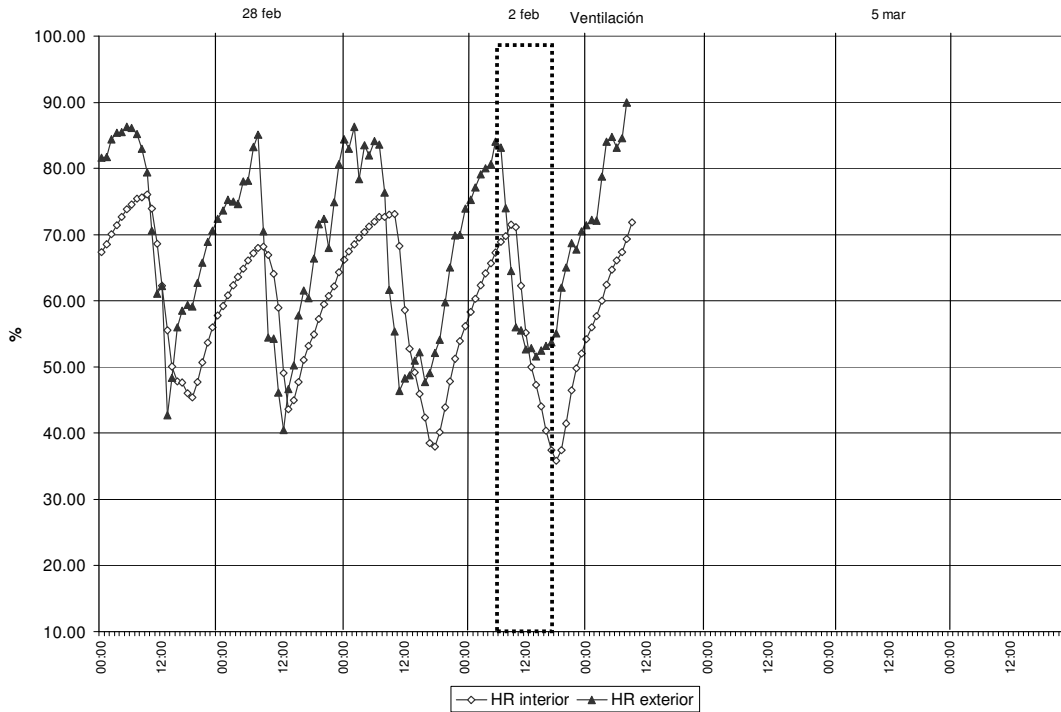


Fig.7.II.22: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica, protección y ventilación. Semana 11: del 27 de febrero al 6 de marzo de 2006

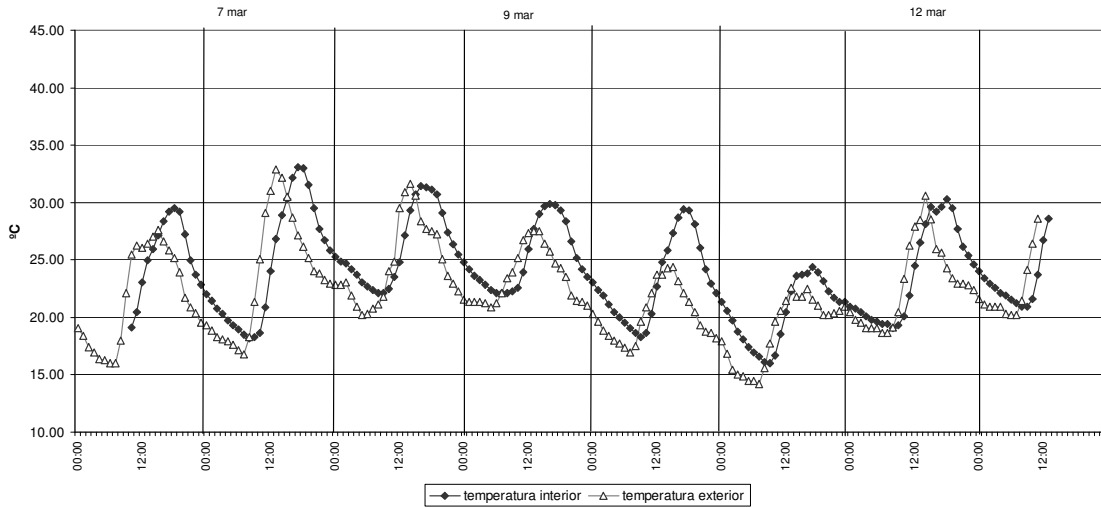


Fig.7.II.23: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 12: del 6 de marzo al 13 de marzo de 2006

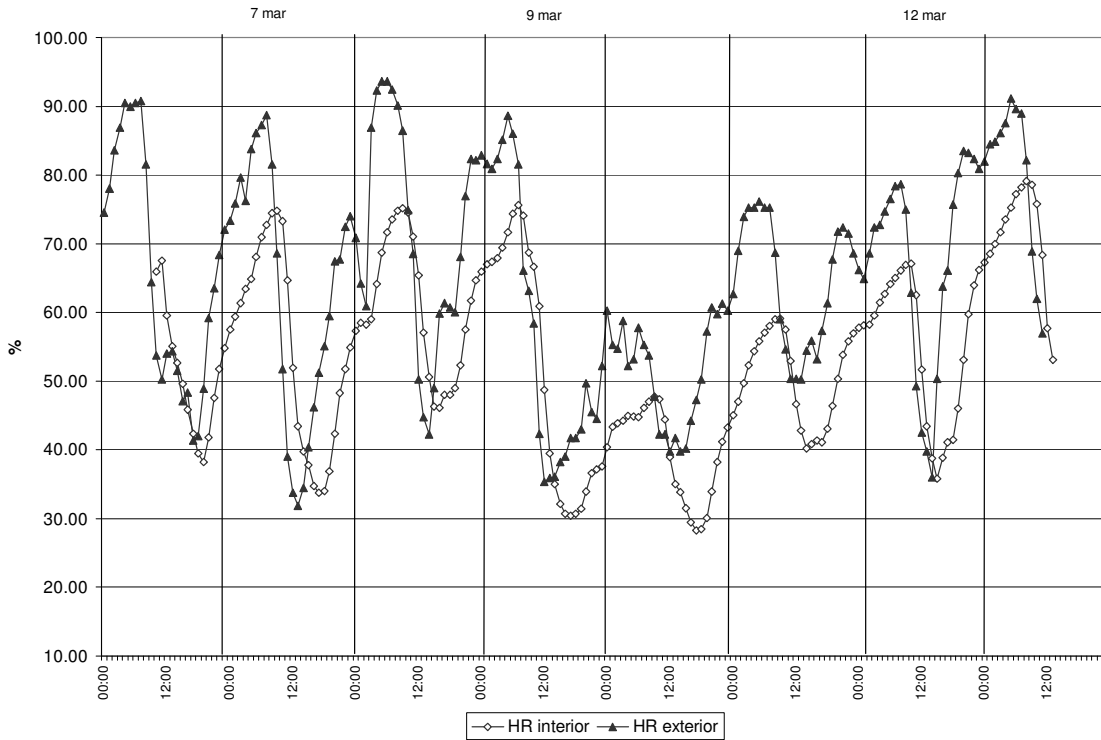


Fig.7.II.24: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 12: del 6 de marzo al 13 de marzo de 2006

Capítulo 7:

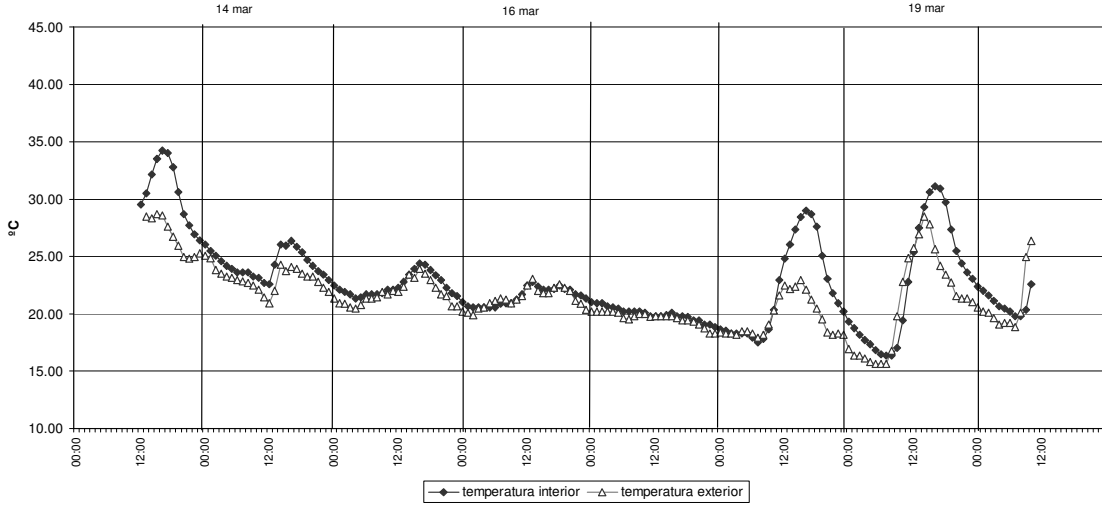


Fig.7.II.25: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 13: del 13 de marzo al 20 de marzo de 2006

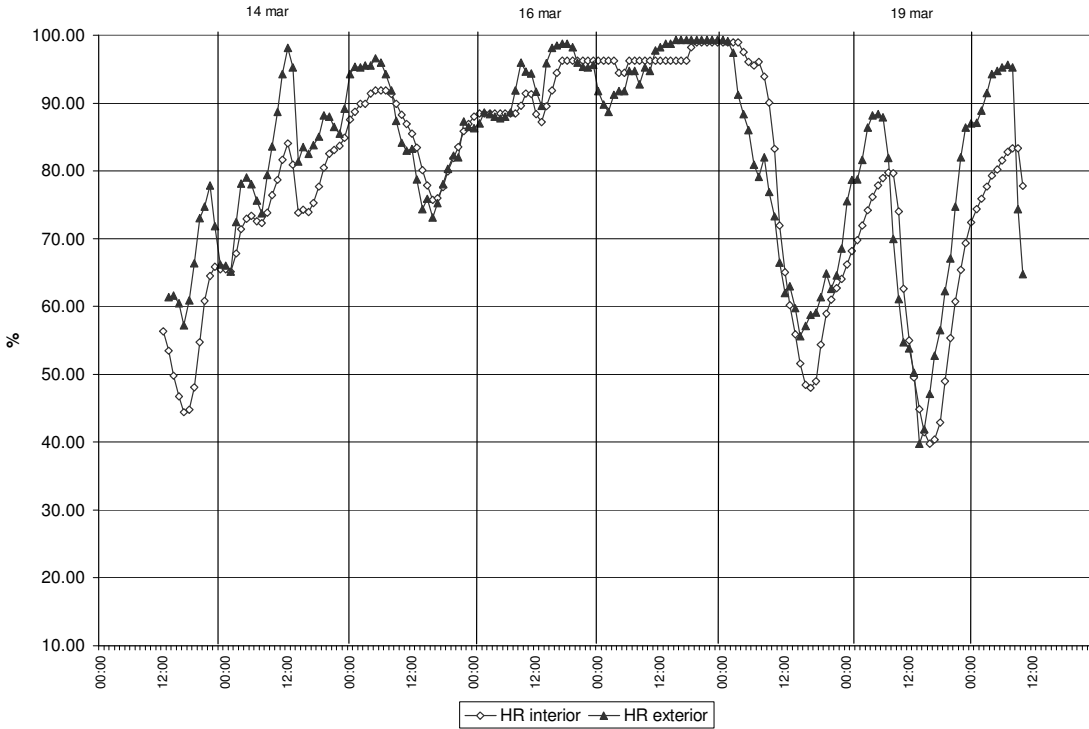


Fig.7.II.26: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 13: del 13 de marzo al 20 de marzo de 2006

Capítulo 7:

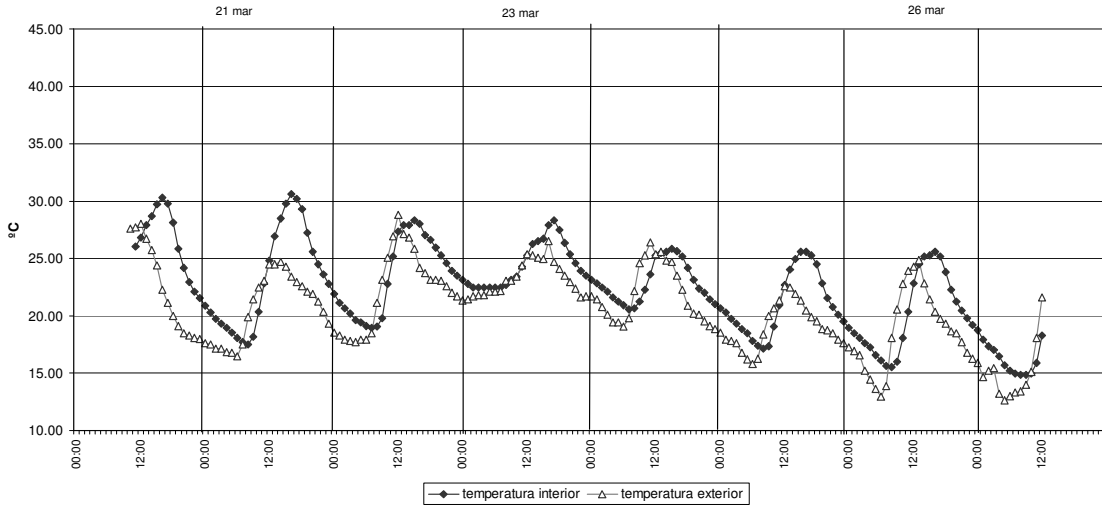


Fig.7.II.27: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 14: del 20 de marzo al 27 de marzo de 2006

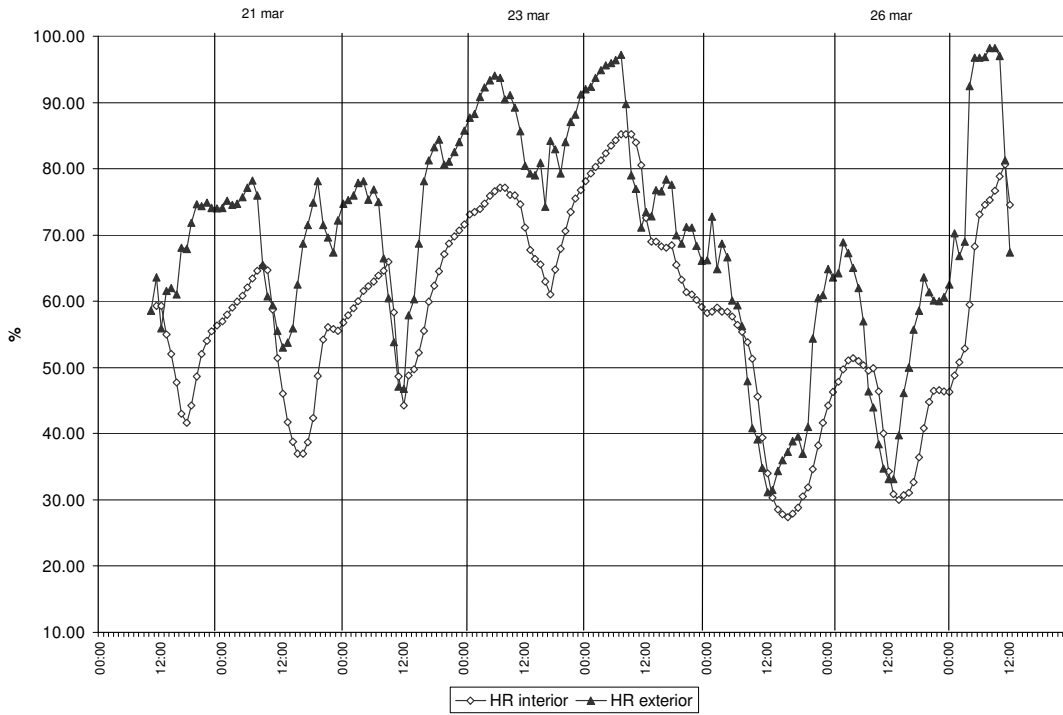


Fig.7.II.28: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 14: del 20 de marzo al 27 de marzo de 2006

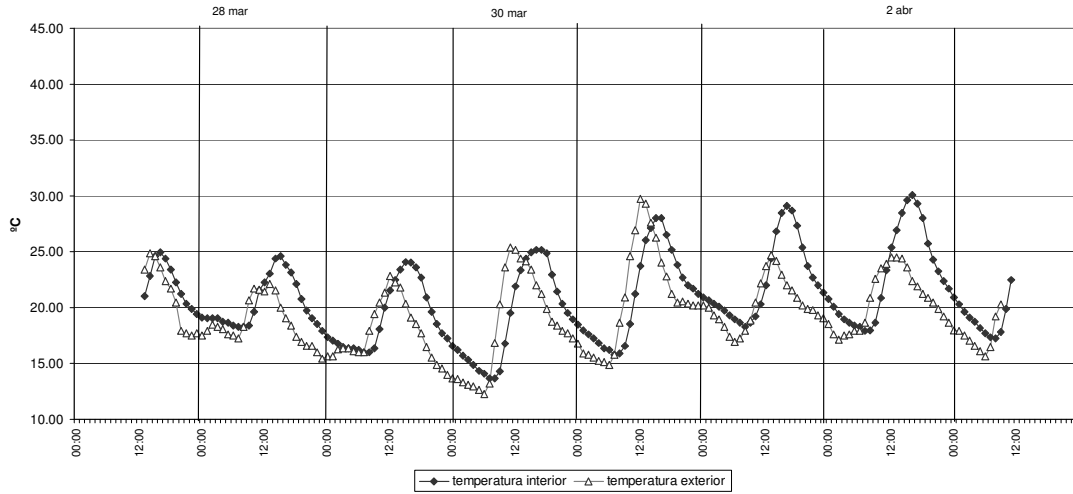


Fig.7.II.29: Temperatura exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 15: del 27 de marzo al 3 de abril de 2006

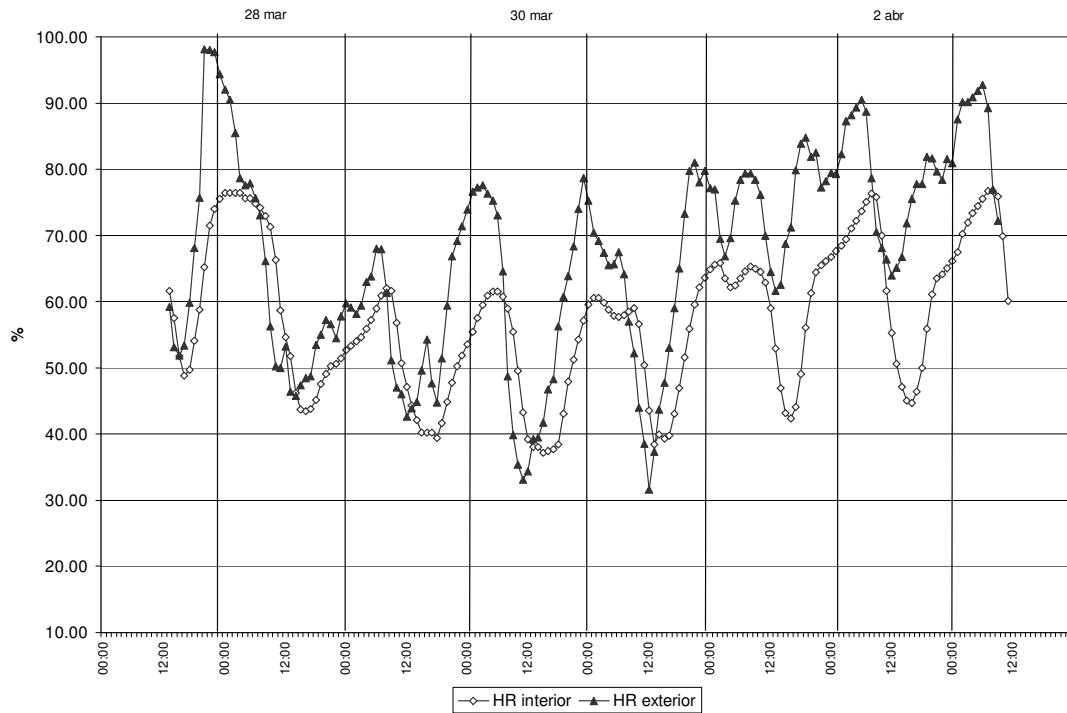


Fig.7.II.29b: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa térmica y protección. Semana 15: del 27 de marzo al 3 de abril de 2006

En la semana 16 no se realizaron mediciones en el prototipo.



Capítulo 7:

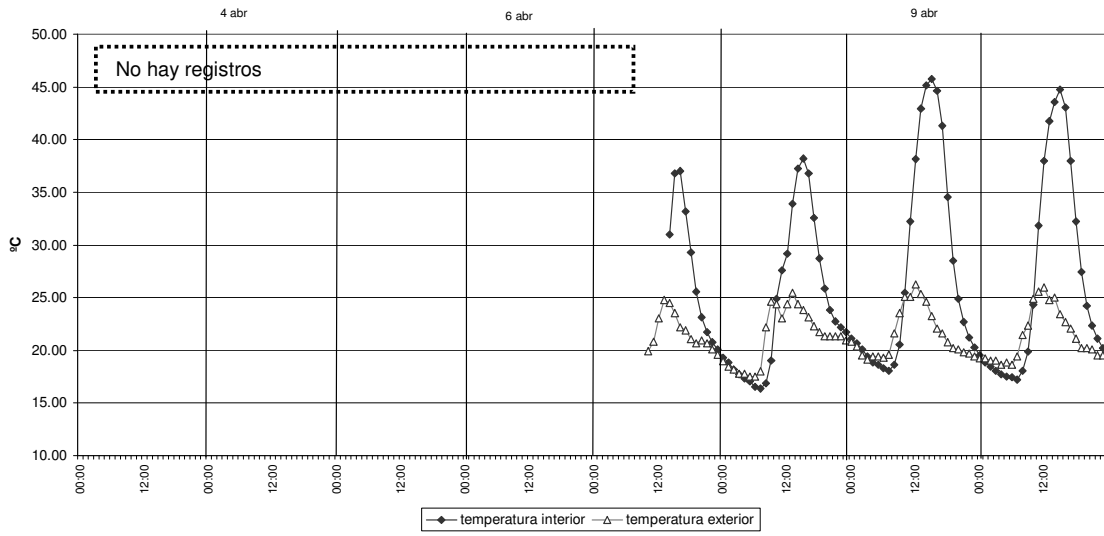


Fig.7.II.30: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 16: del 3 de abril al 10 de abril de 2006

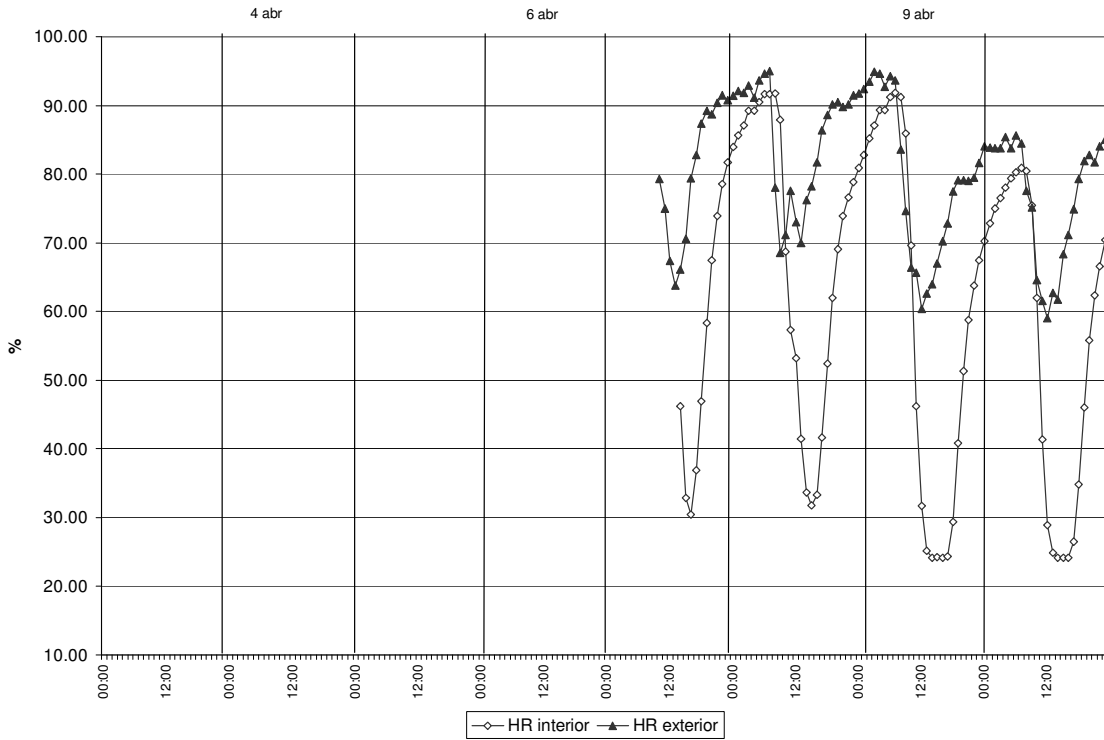


Fig.7.II.30b: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 16: del 3 de abril al 10 de abril de 2006

Capítulo 7:

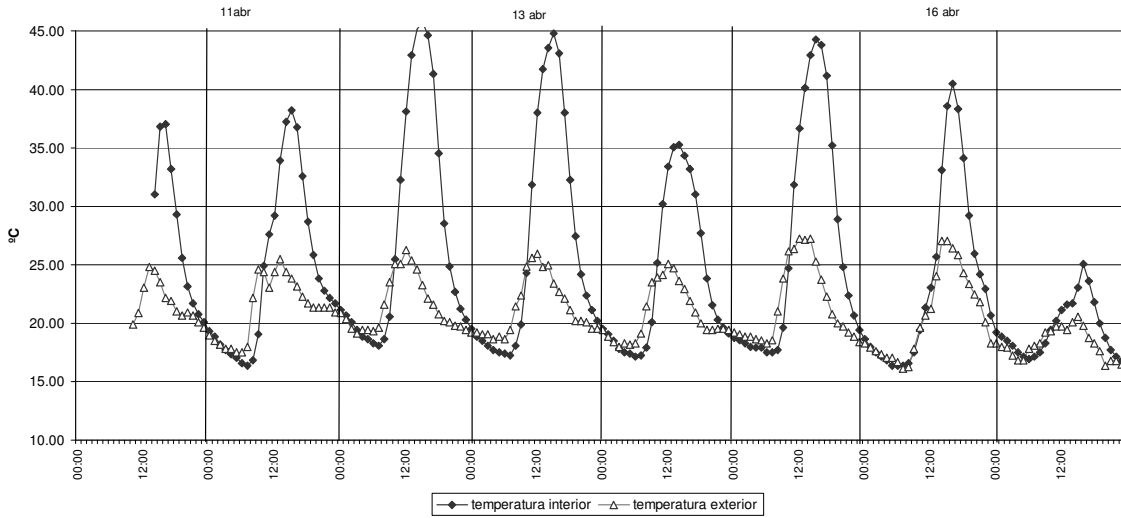


Fig. 7.II.31: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 17: del 10 de abril al 17 de abril de 2006

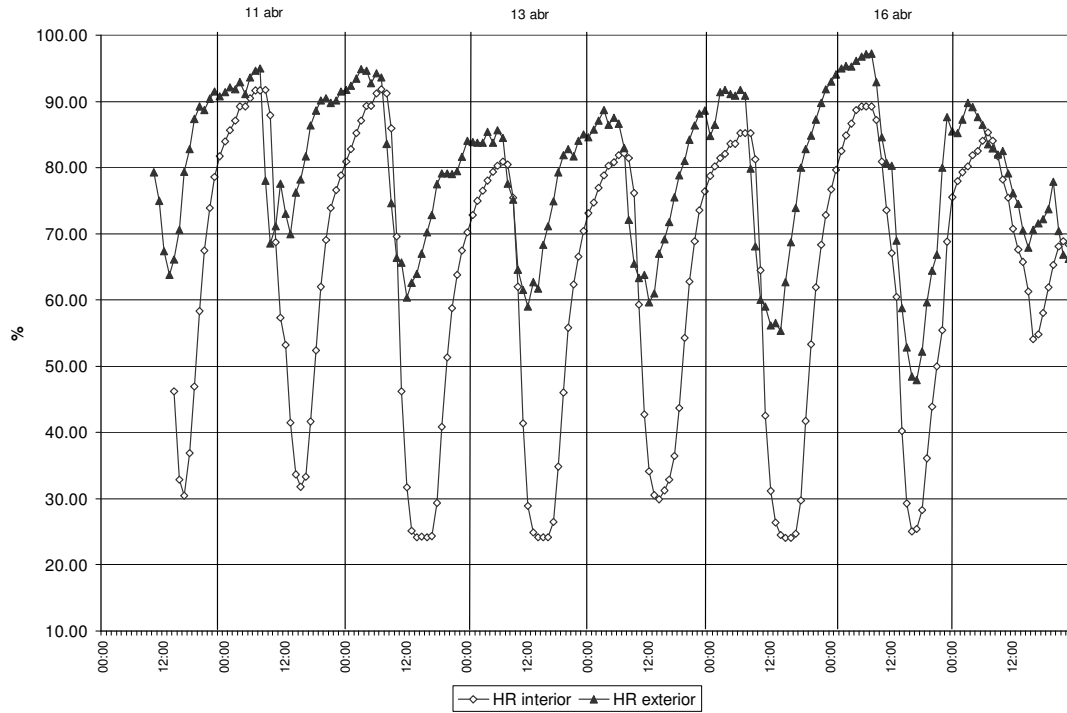


Fig. 7.II.32: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 17: del 10 de abril al 17 de abril de 2006

Capítulo 7:

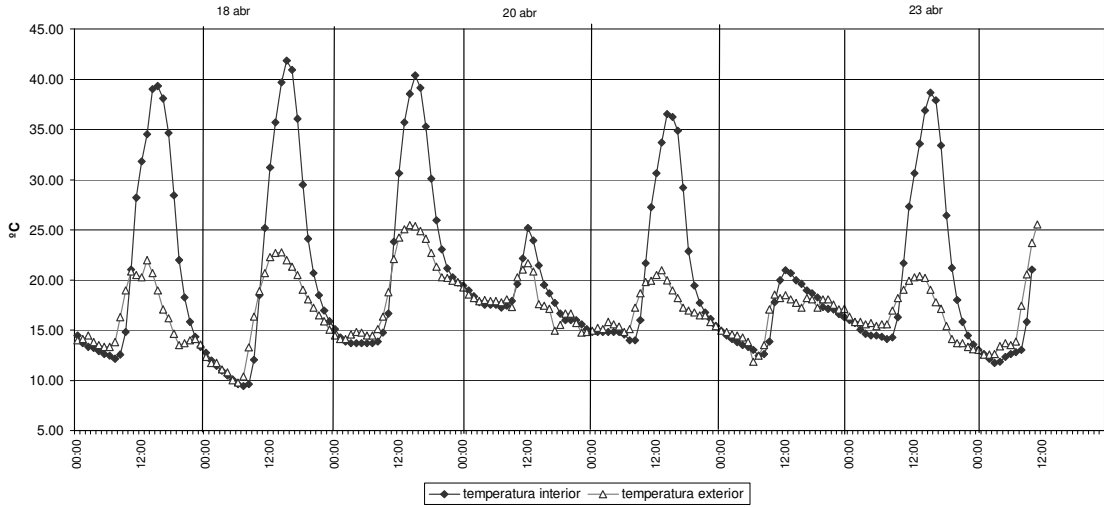


Fig.7.II.33: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 18: del 17 de abril al 24 de abril de 2006

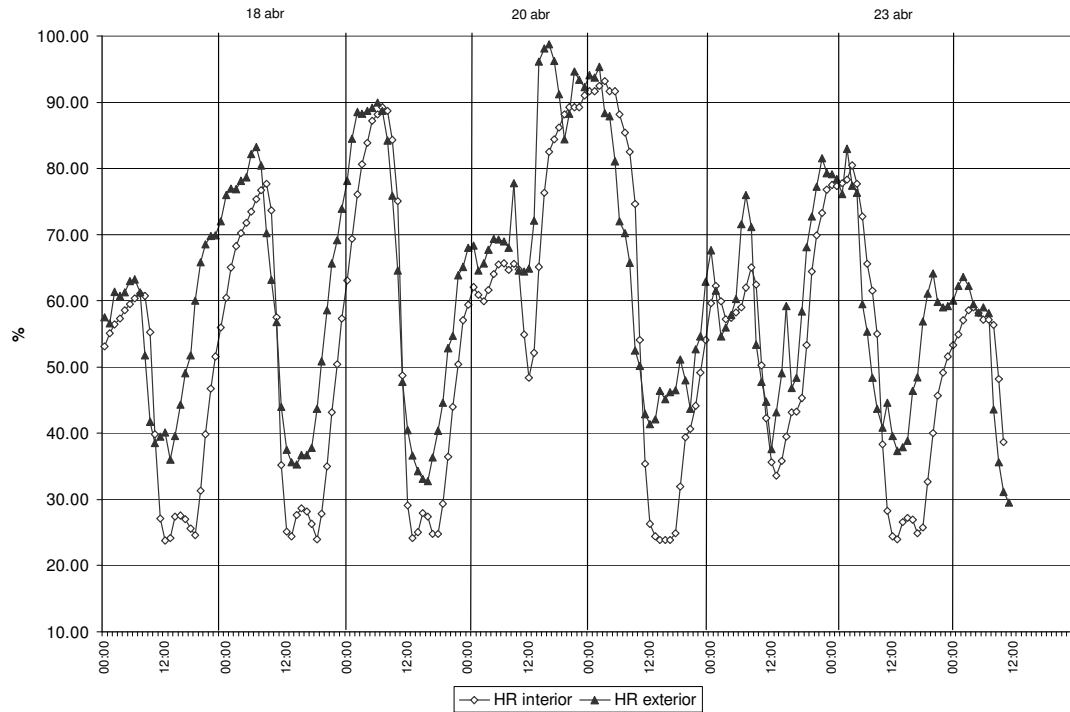


Fig.7.II.34: Humedad exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 18: del 17 de abril al 24 de abril de 2006

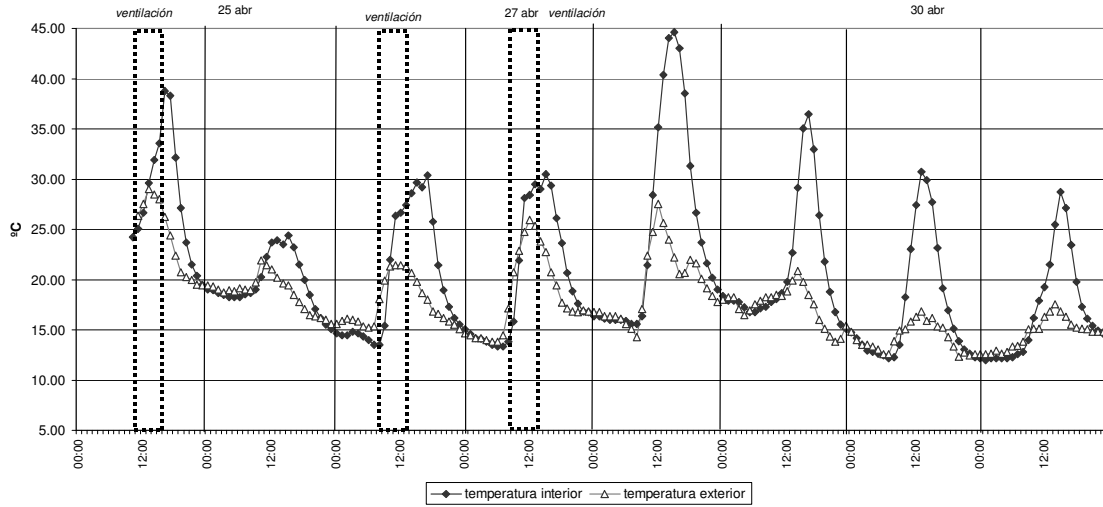


Fig.7.II.35: Temperatura exterior e interior horaria con ventilación diurna. Semana 19: del 24 de abril al 1 de mayo de 2006

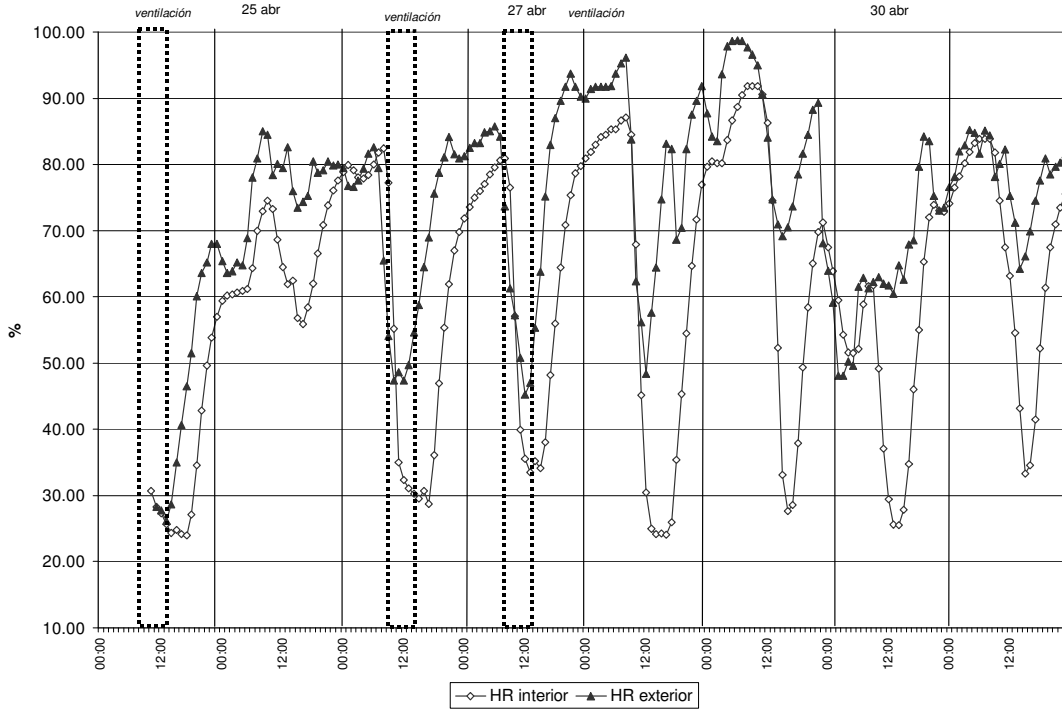


Fig.7.II.36: Humedad relativa exterior e interior horaria con ventilación diurna. Semana 19: del 24 de abril al 1 de mayo de 2006

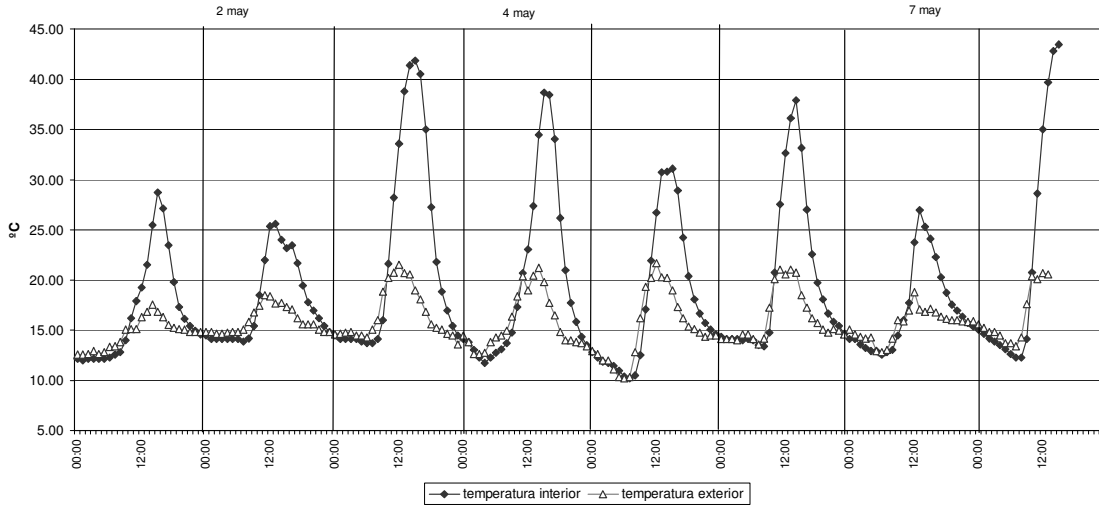


Fig.7.II.37: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 20: del 1 de mayo al 8 de mayo de 2006

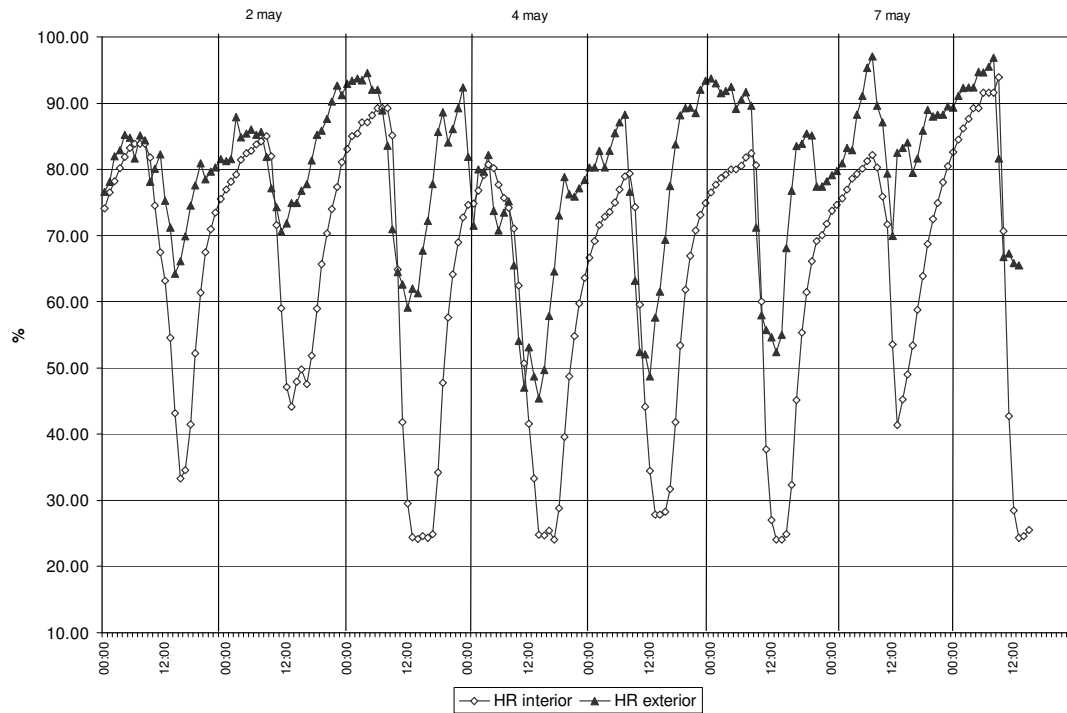


Fig.7.II.38: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 20: del 1 de mayo al 8 de mayo de 2006

Capítulo 7:

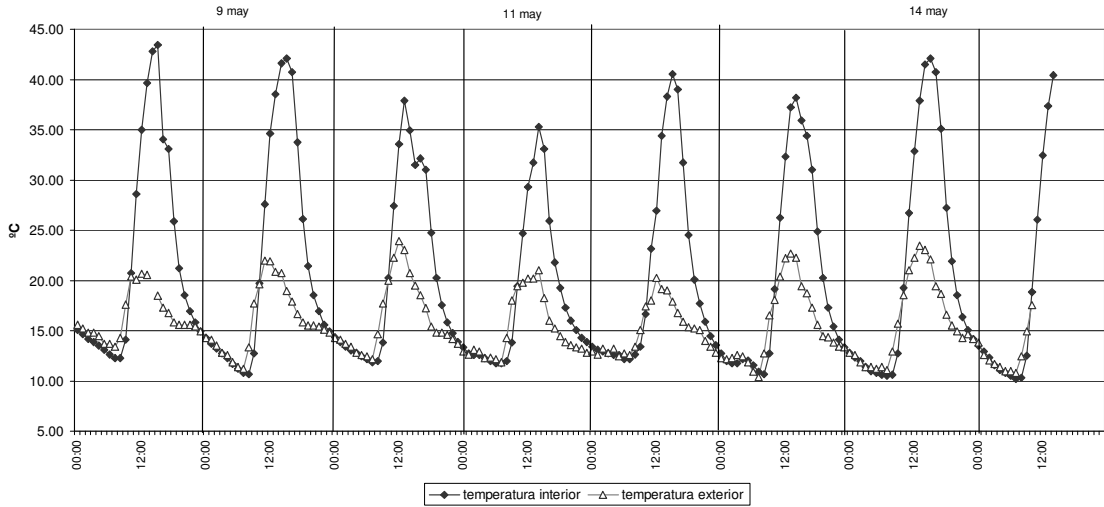


Fig.7.II.39: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 21: del 8 de mayo al 15 de mayo de 2006

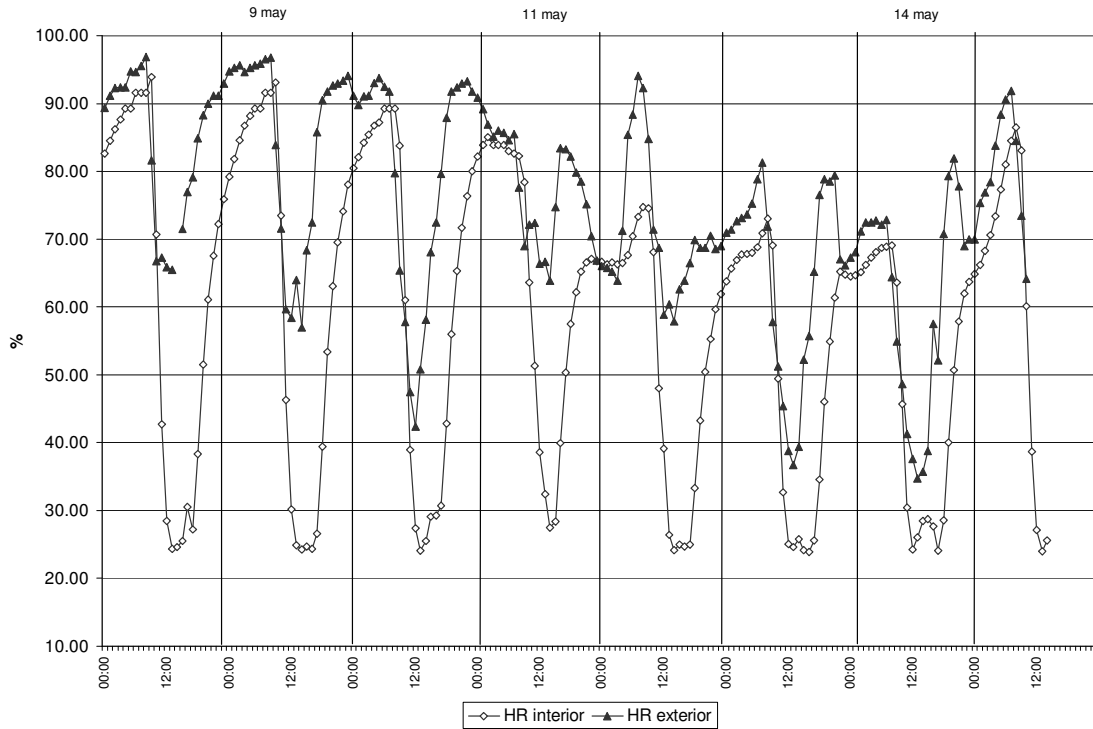
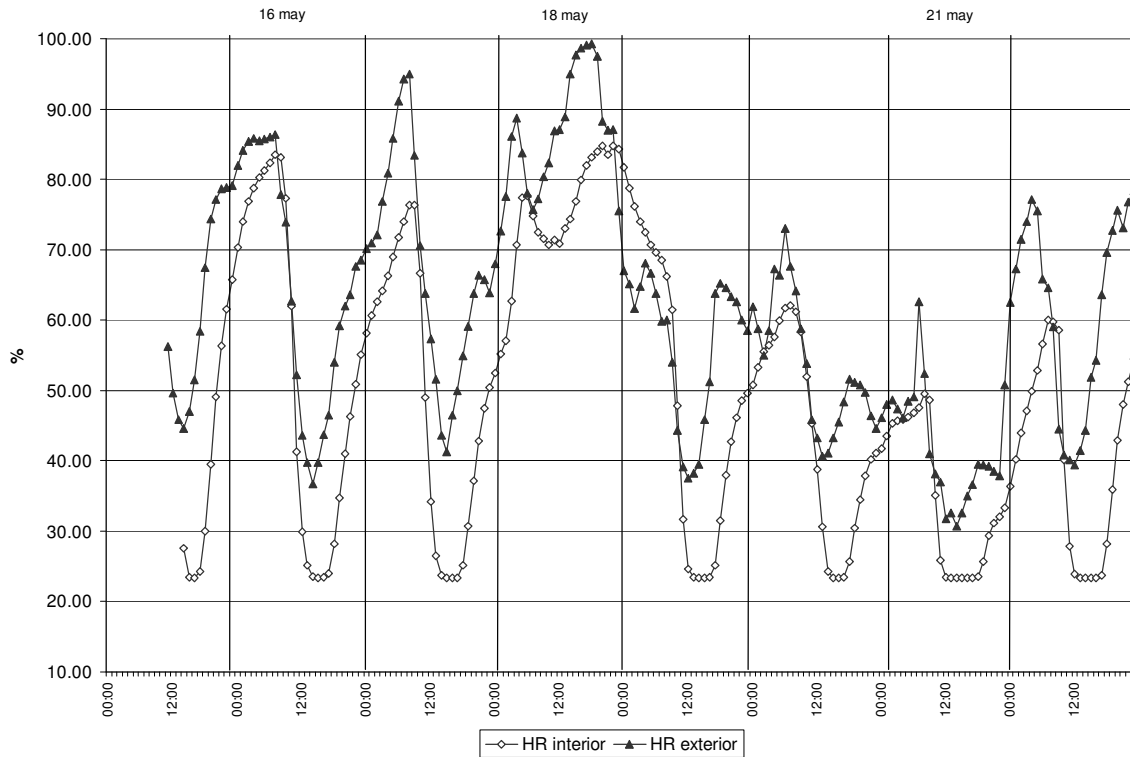
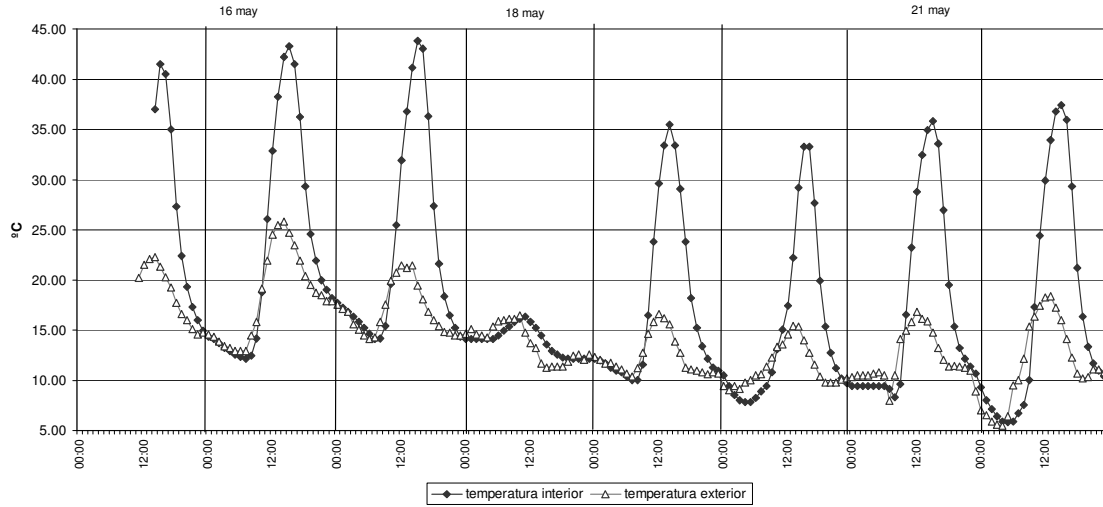


Fig.7.II.40: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 21: del 8 de mayo al 15 de mayo de 2006

Capítulo 7:



Capítulo 7:

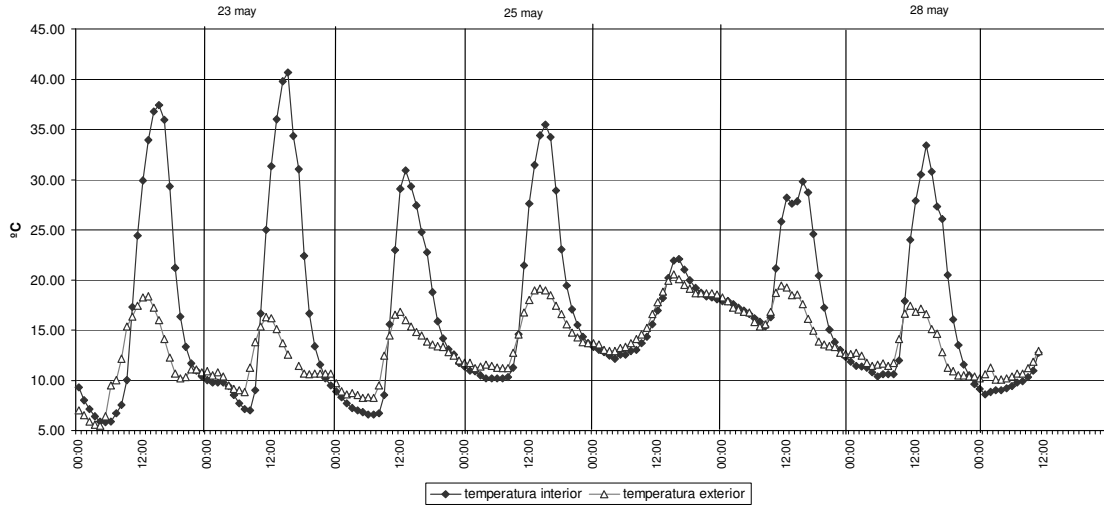


Fig.7.II.43: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 23: del 22 de mayo al 29 de mayo de 2006

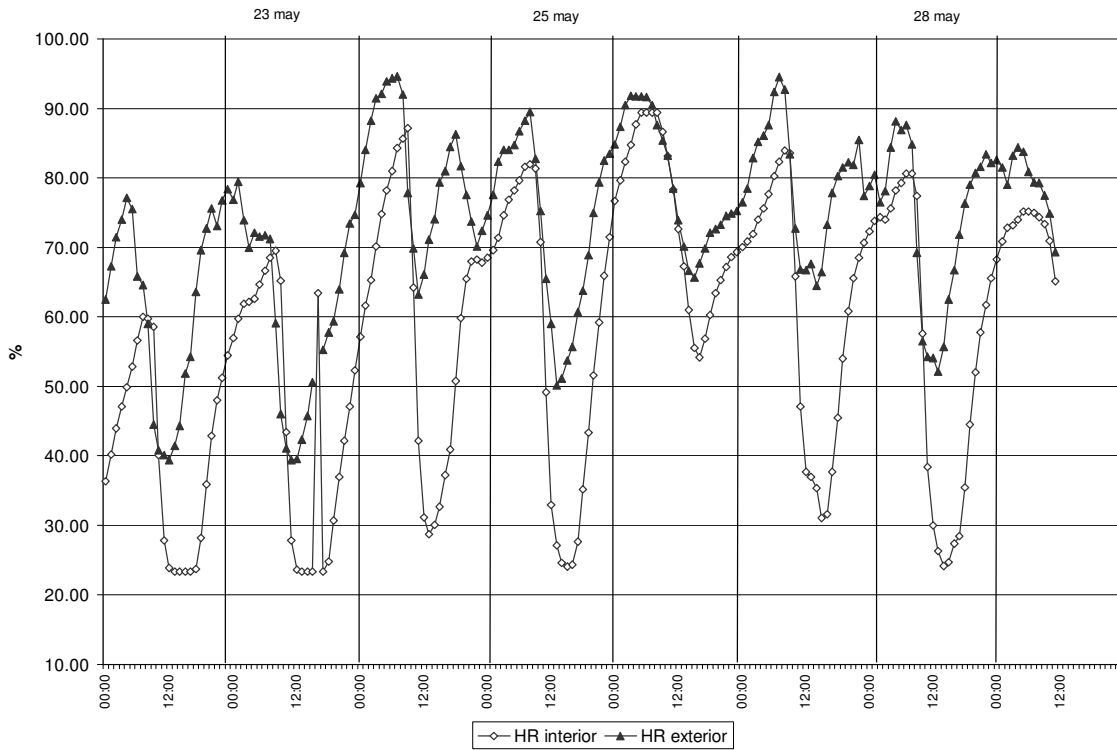
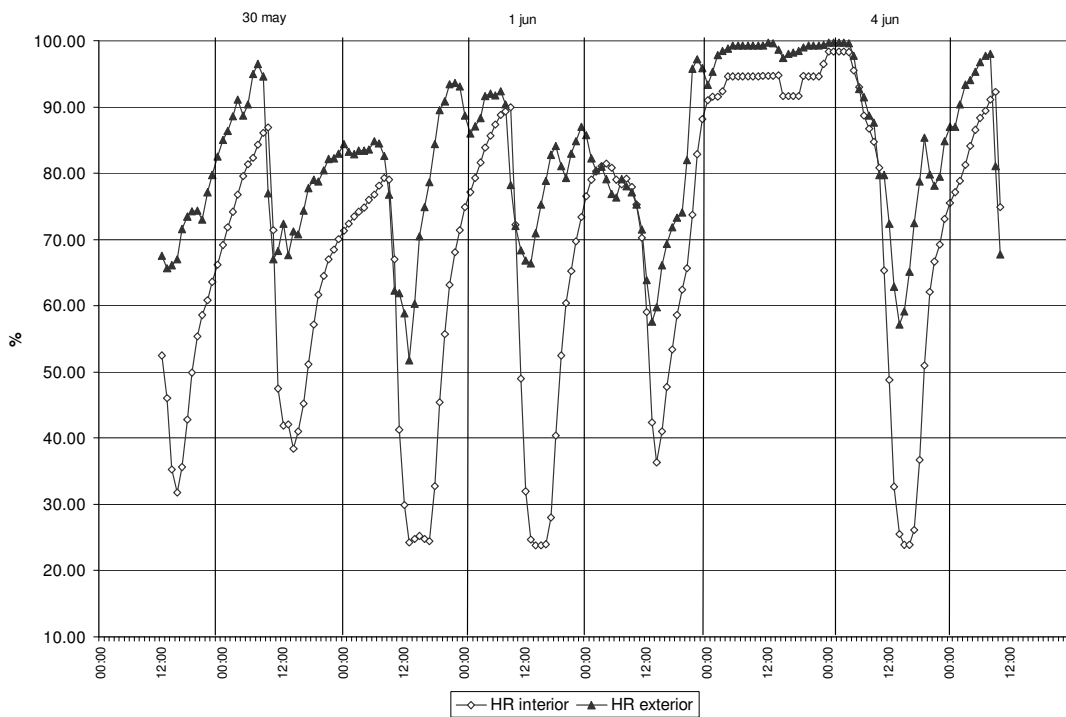
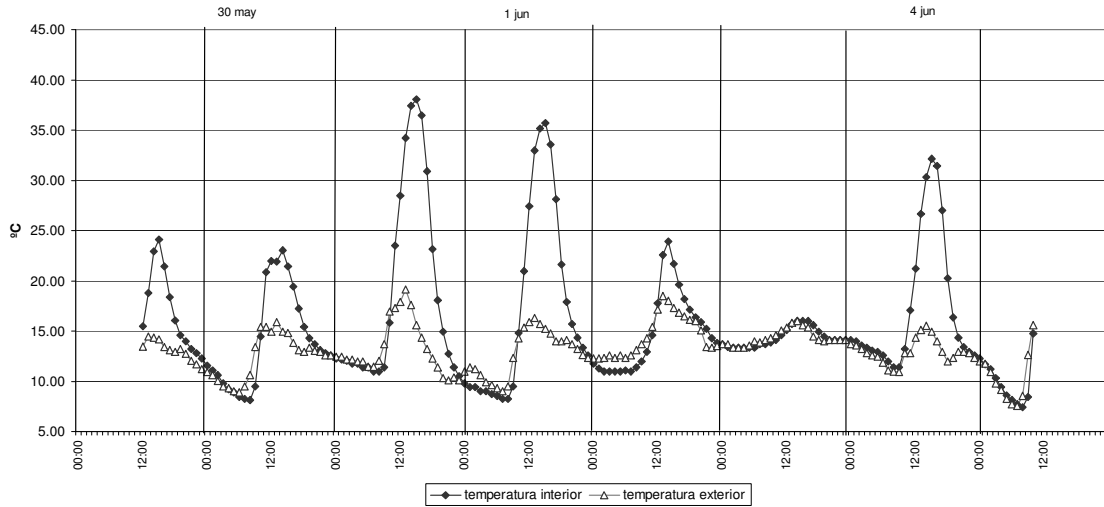


Fig.7.II.44: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 23: del 22 de mayo al 29 de mayo de 2006





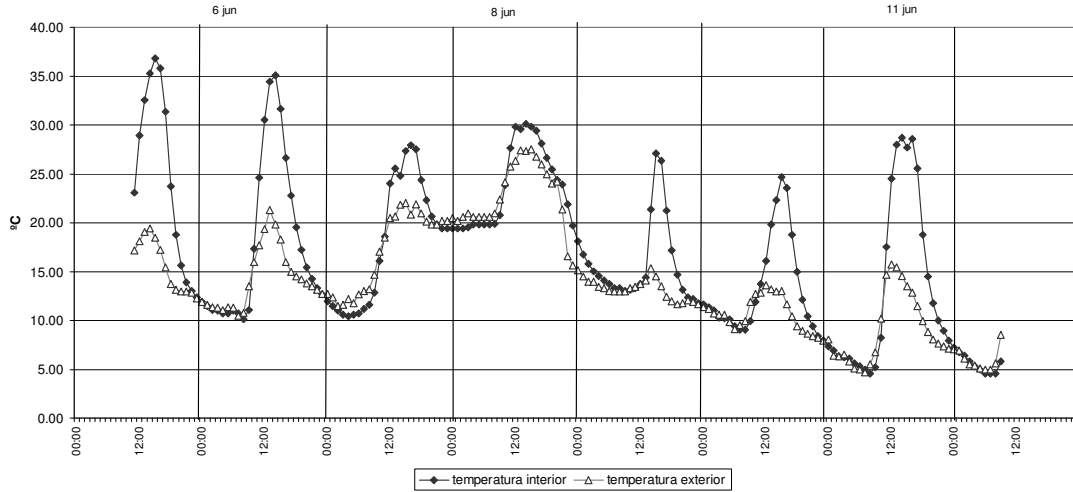


Fig. 7.II.47: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 25: del 5 de junio al 12 de junio de 2006

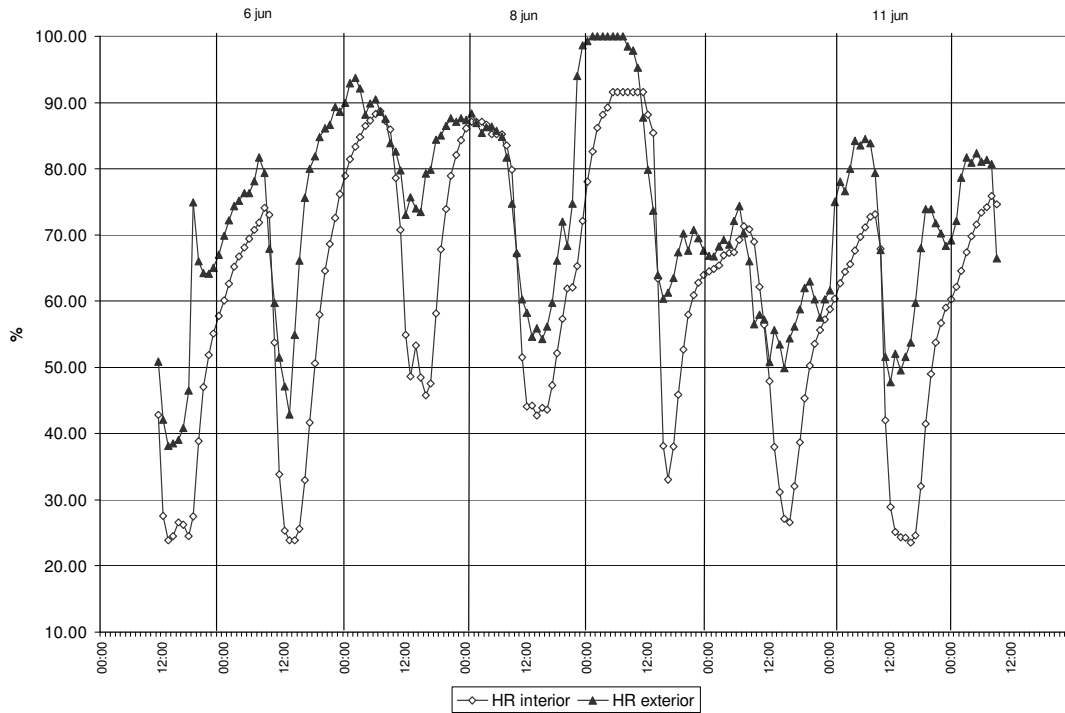


Fig. 7.II.48: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 25: del 5 de junio al 12 de junio de 2006

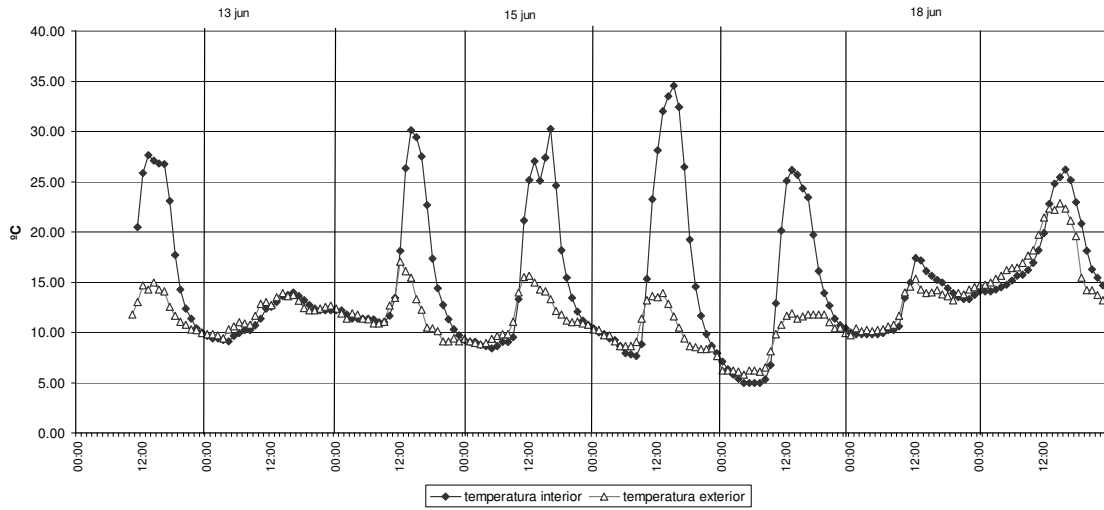


Fig.7.II.49: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 26: del 12 de junio al 19 de junio de 2006

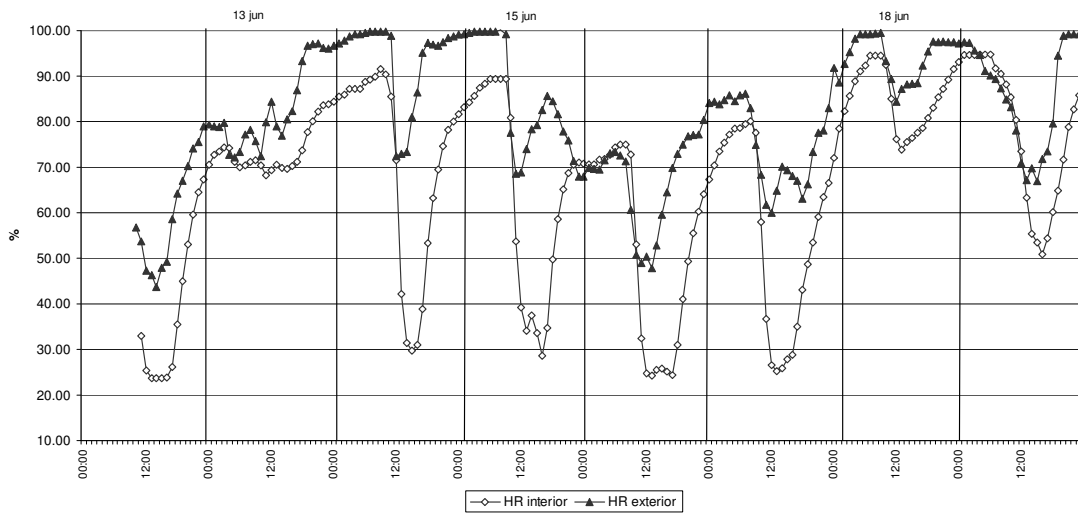


Fig.7.II.50: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 26: del 12 de junio al 19 de junio de 2006

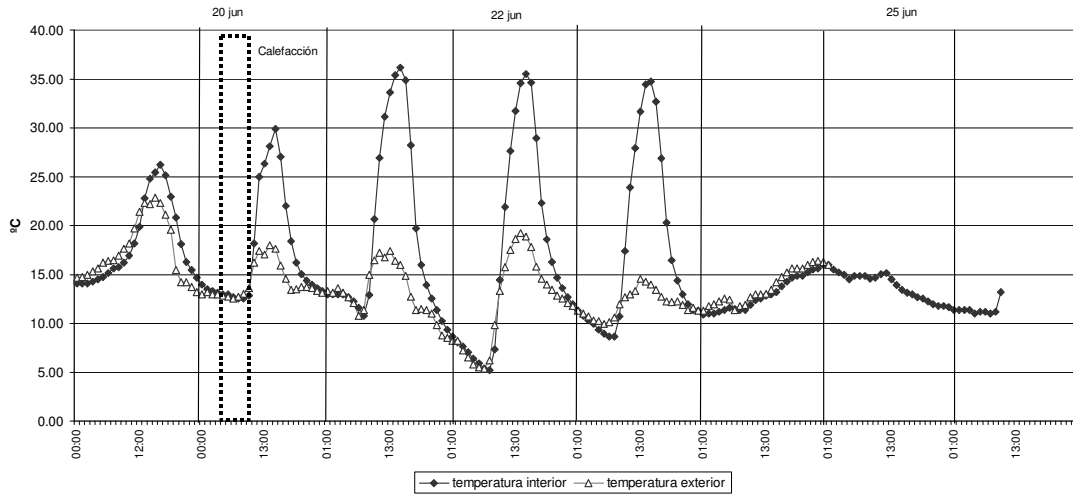


Fig.7.II.51: Temperatura exterior e interior horaria con calefacción. Semana 27: del 19 de junio al 26 de junio de 2006

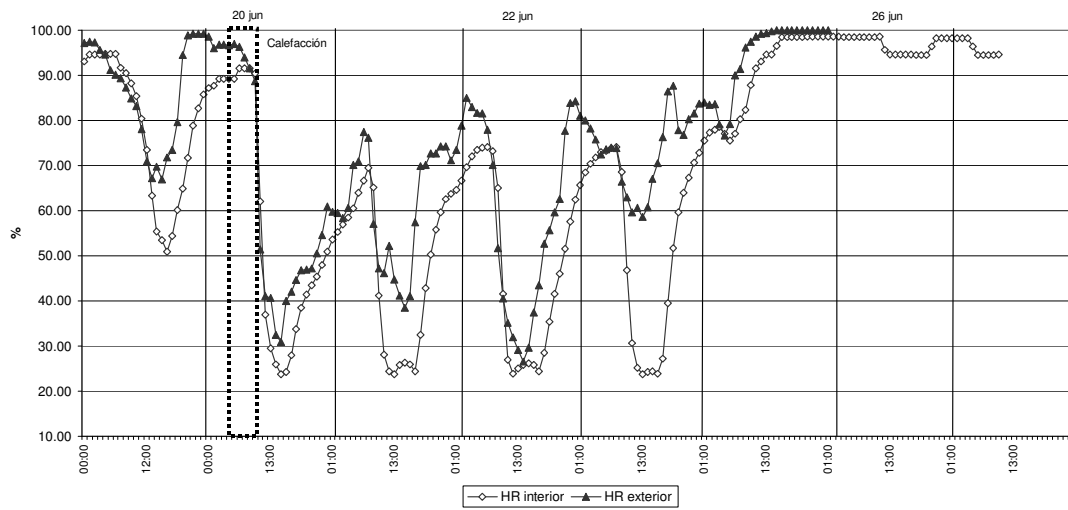


Fig.7.II.52: Humedad relativa exterior e interior horaria con calefacción. Semana 27: del 19 de junio al 26 de junio de 2006

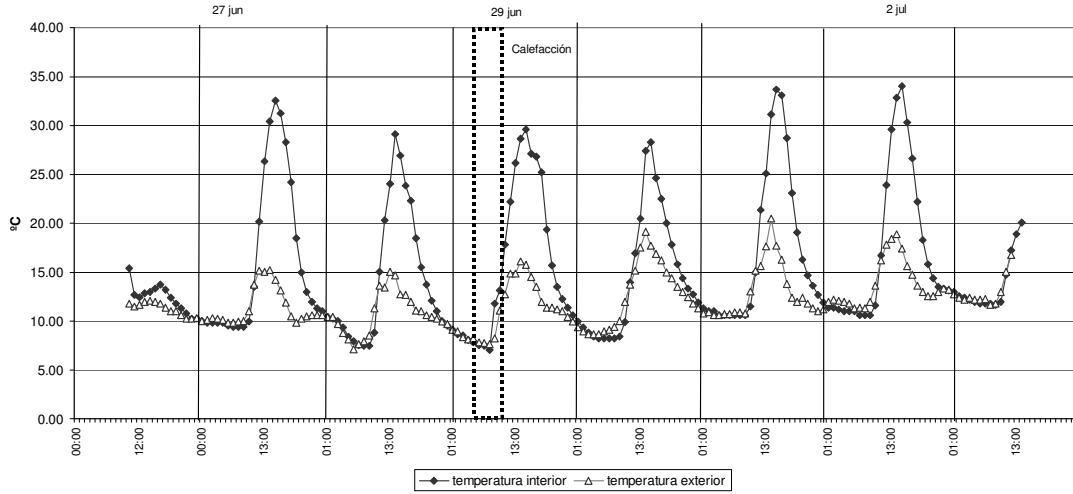


Fig.7.II.53: Temperatura exterior e interior horaria con calefacción. Semana 28: del 26 de junio al 3 de julio de 2006

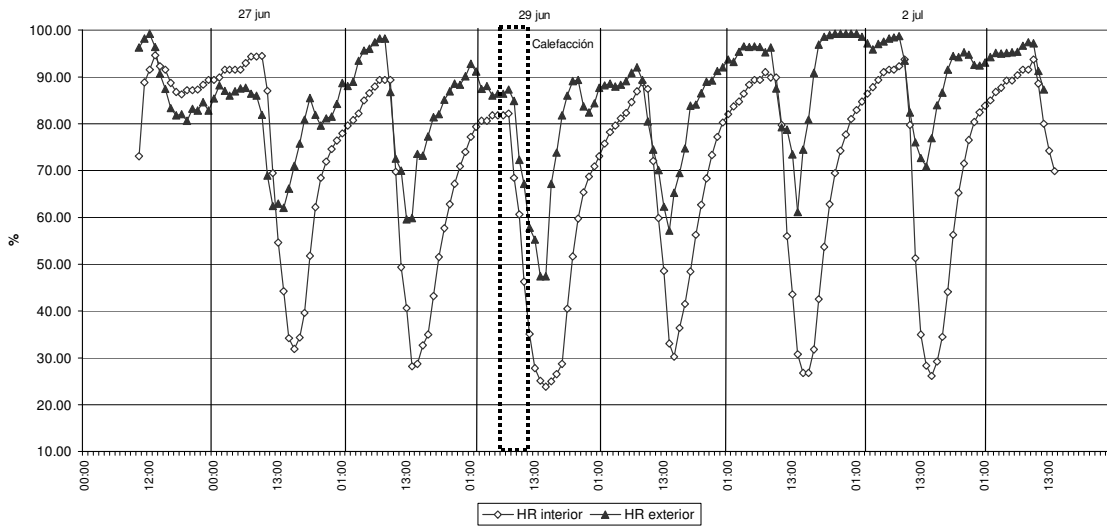


Fig.7.II.54: Humedad relativa exterior e interior horaria con calefacción. Semana 28: del 26 de junio al 3 de julio de 2006

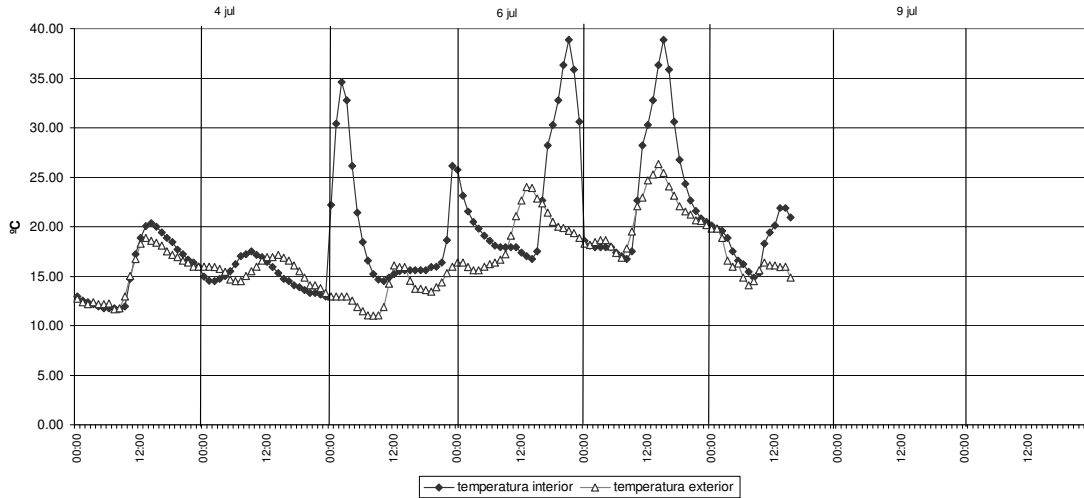


Fig.7.II.55: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 29: del 3 de julio al 10 de julio de 2006

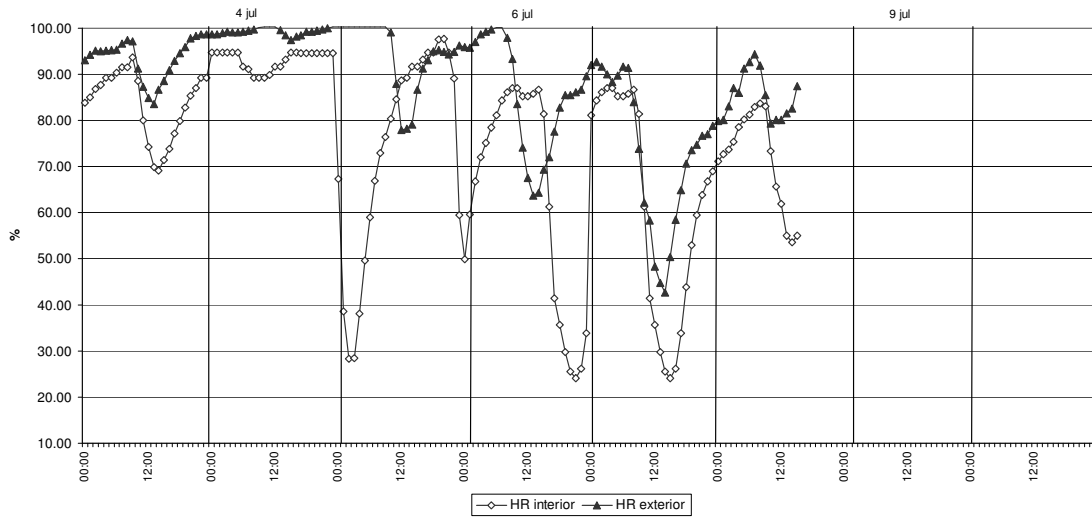


Fig.7.II.56: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 29: del 3 de julio al 10 de julio de 2006

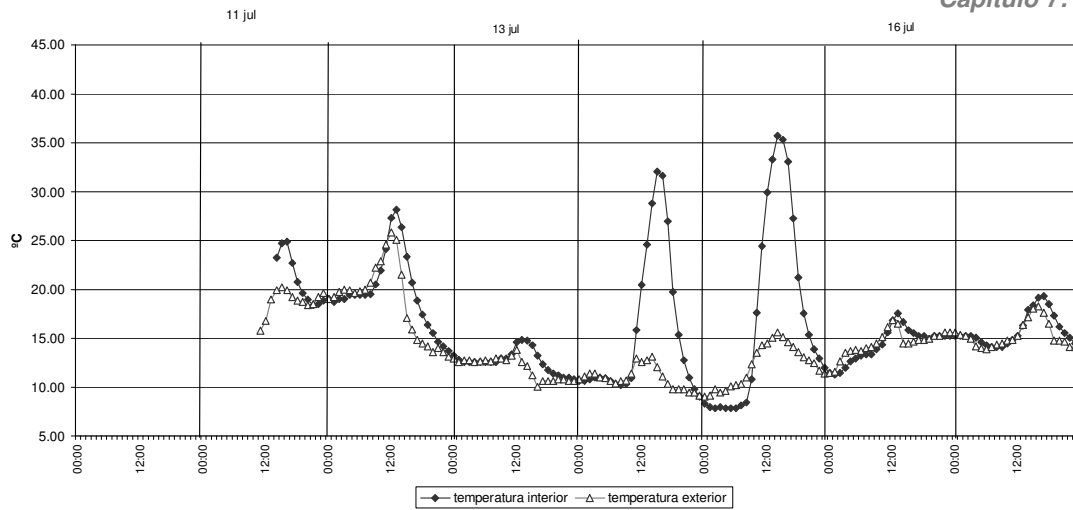


Fig. 7.II.57: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 30: del 10 de julio al 17 de julio de 2006

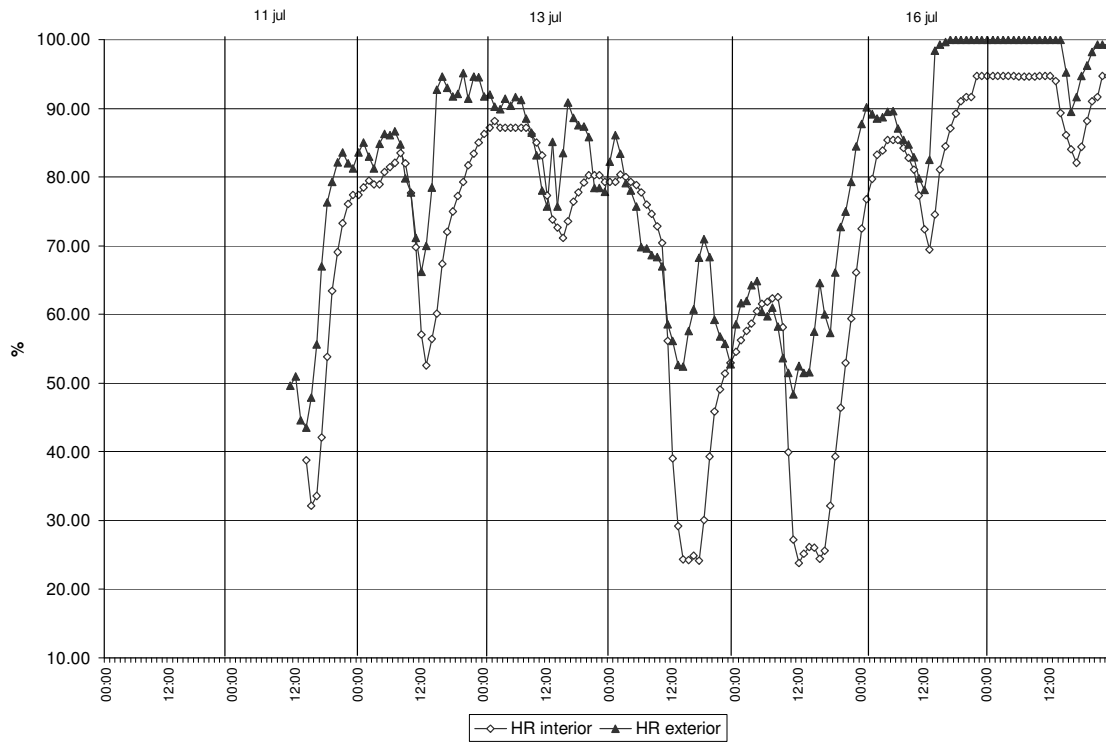


Fig. 7.II.58: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 30: del 10 de julio al 17 de julio de 2006

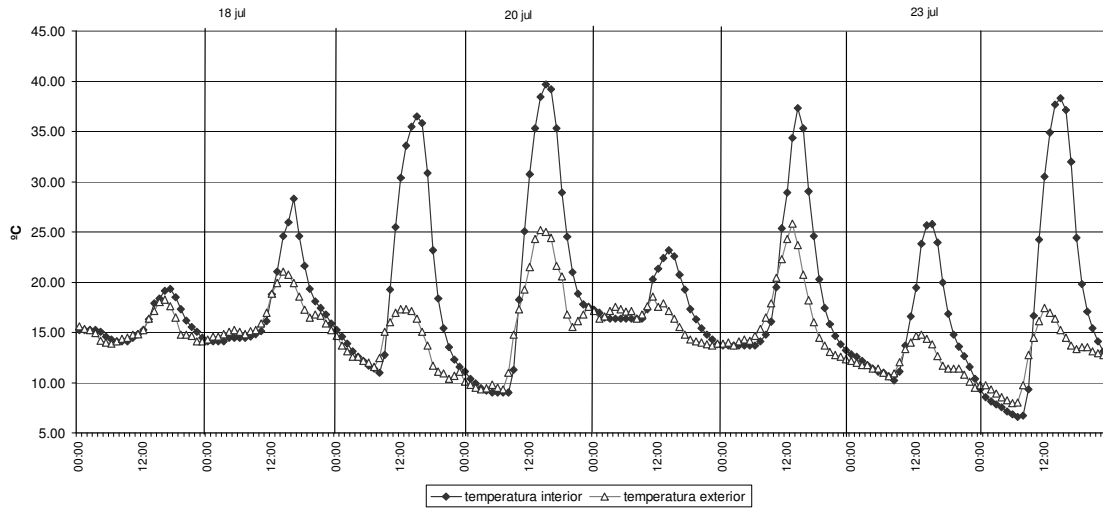


Fig.7.II.59: Temperatura exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 31: del 17 de julio al 24 de julio de 2006

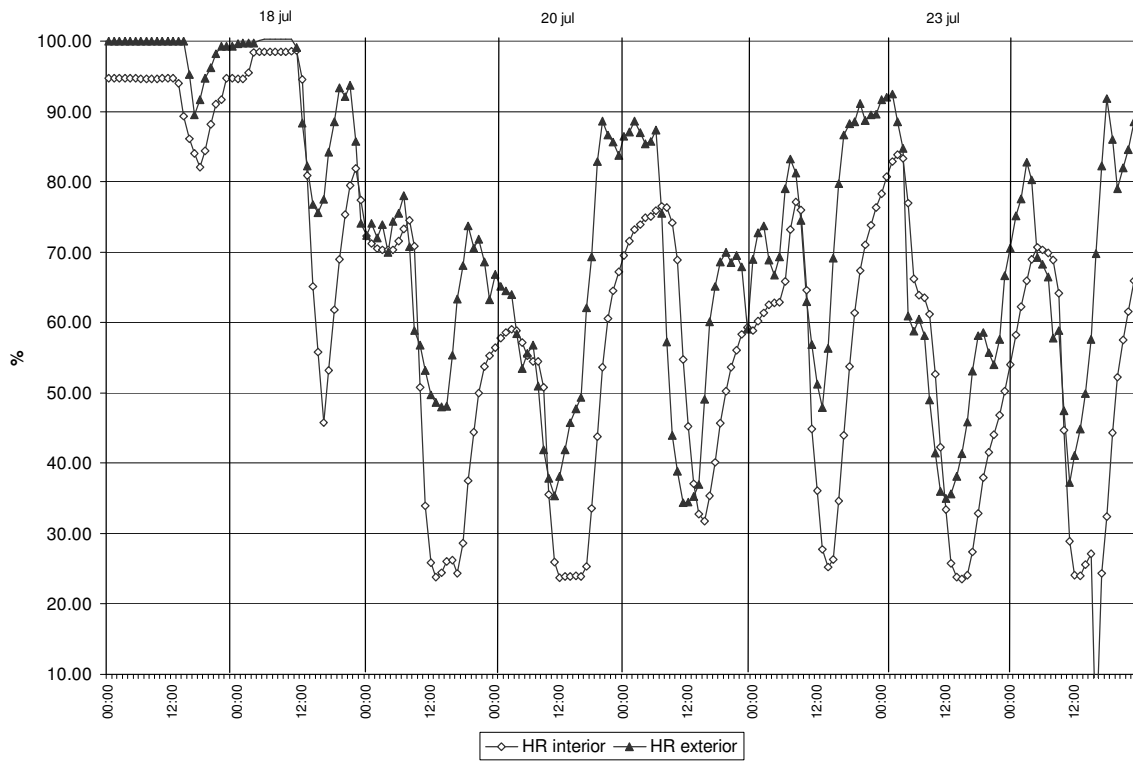


Fig.7.II.60: Humedad relativa exterior e interior horaria con fluctuaciones libres. Semana 31: del 17 de julio al 24 de julio de 2006



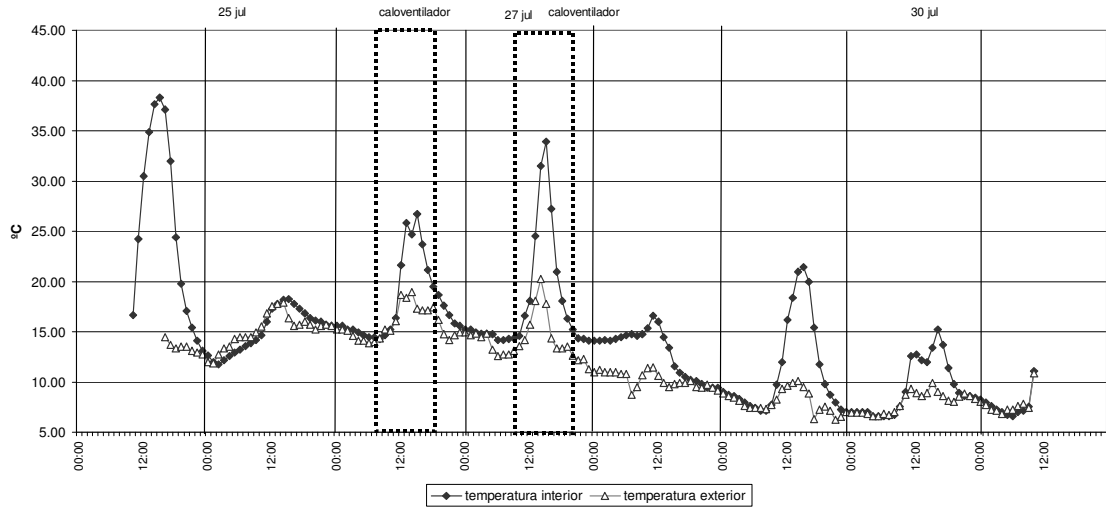


Fig.7.II.61: Temperatura exterior e interior horaria con calefacción. Semana 32: del 24 de julio al 31 de julio de 2006

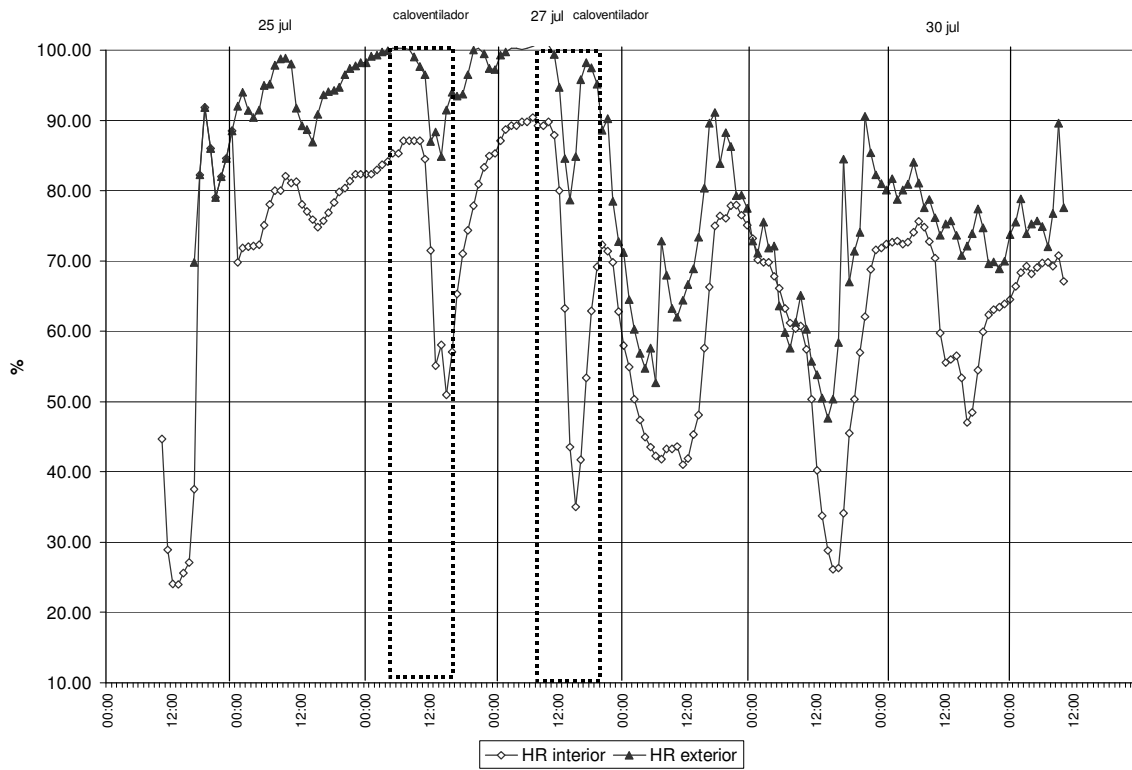


Fig.7.II.61b: Humedad relativa exterior e interior horaria con calefacción. Semana 32: del 24 de julio al 31 de julio de 2006

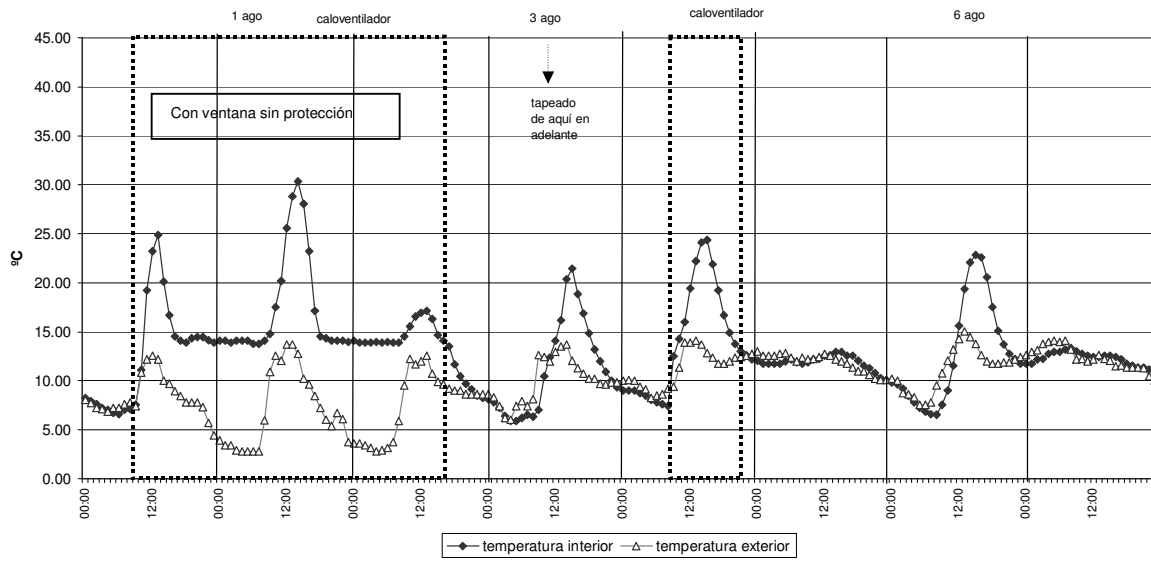


Fig.7.II.62: Temperatura exterior e interior horaria con calefacción y tapeado de ventana. Semana 33: del 31 de julio al 7 de agosto de 2006

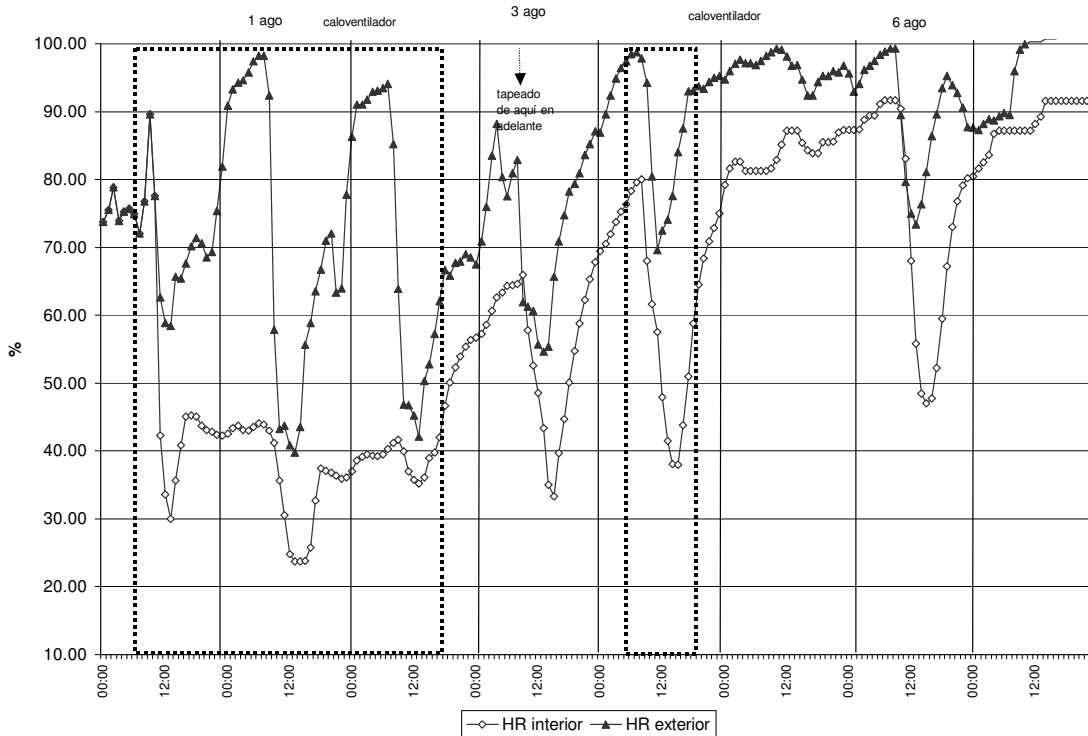


Fig.7.II.63: Humedad relativa exterior e interior horaria con calefacción y tapeado de ventana. Semana 33: del 31 de julio al 7 de agosto de 2006

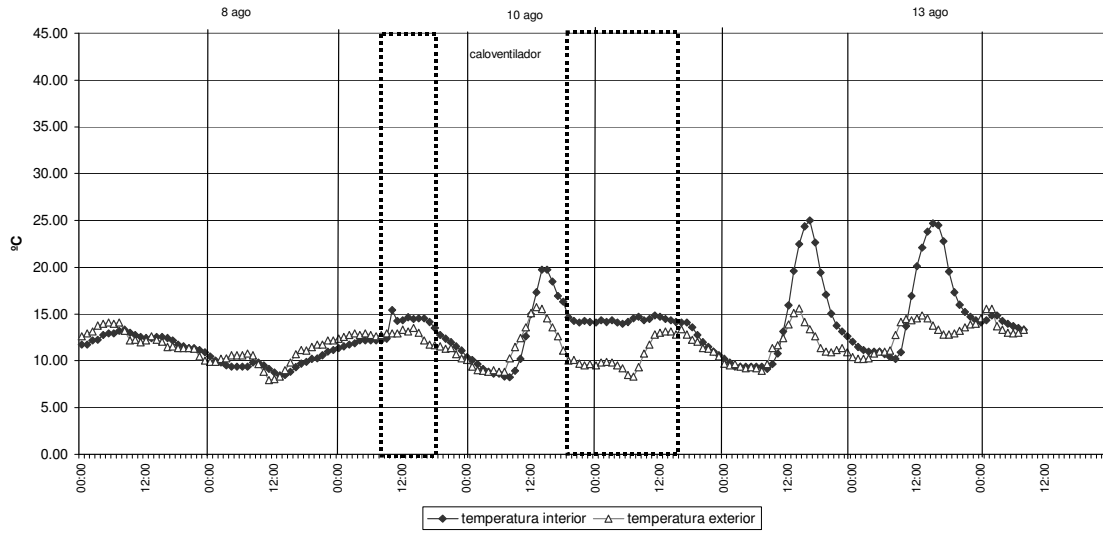


Fig.7.II.64: Temperatura exterior e interior horaria con calefacción y tapeado de ventana. Semana 34: del 7 de agosto al 14 de agosto de 2006

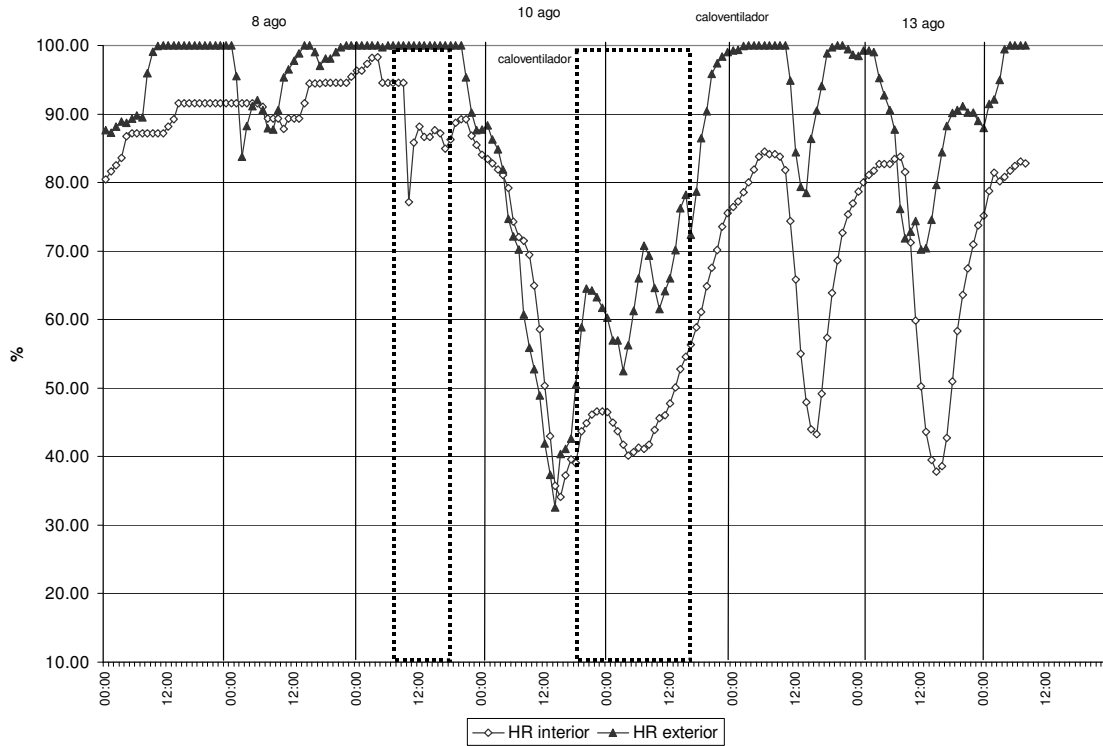


Fig.7.II.65: Humedad relativa exterior e interior horaria con calefacción y tapeado de ventana. Semana 34: del 7 de agosto al 14 de agosto de 2006

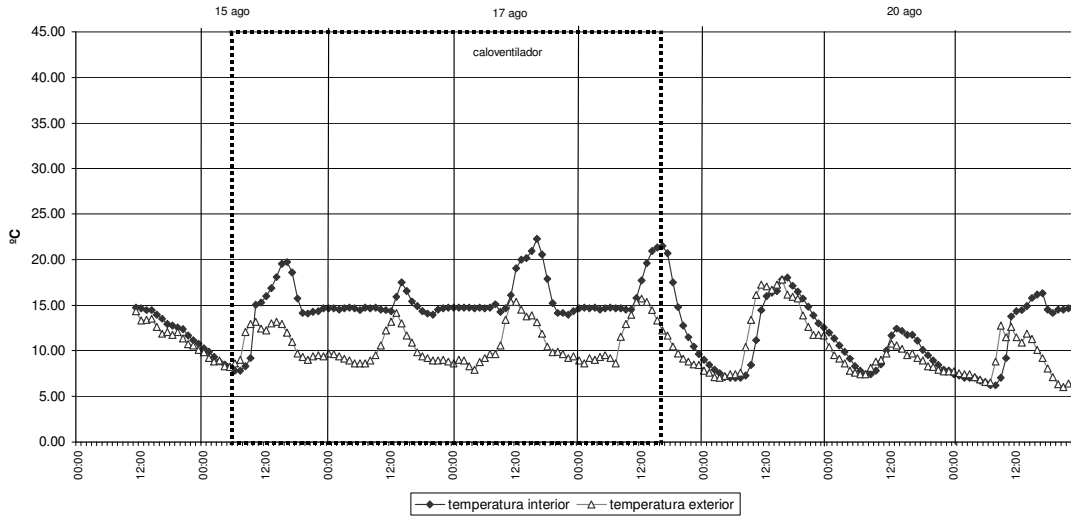


Fig.7.II.66: Temperatura exterior e interior horaria con calefacción y tapeado de ventana. Semana 35: del 14 de agosto al 21 de agosto de 2006

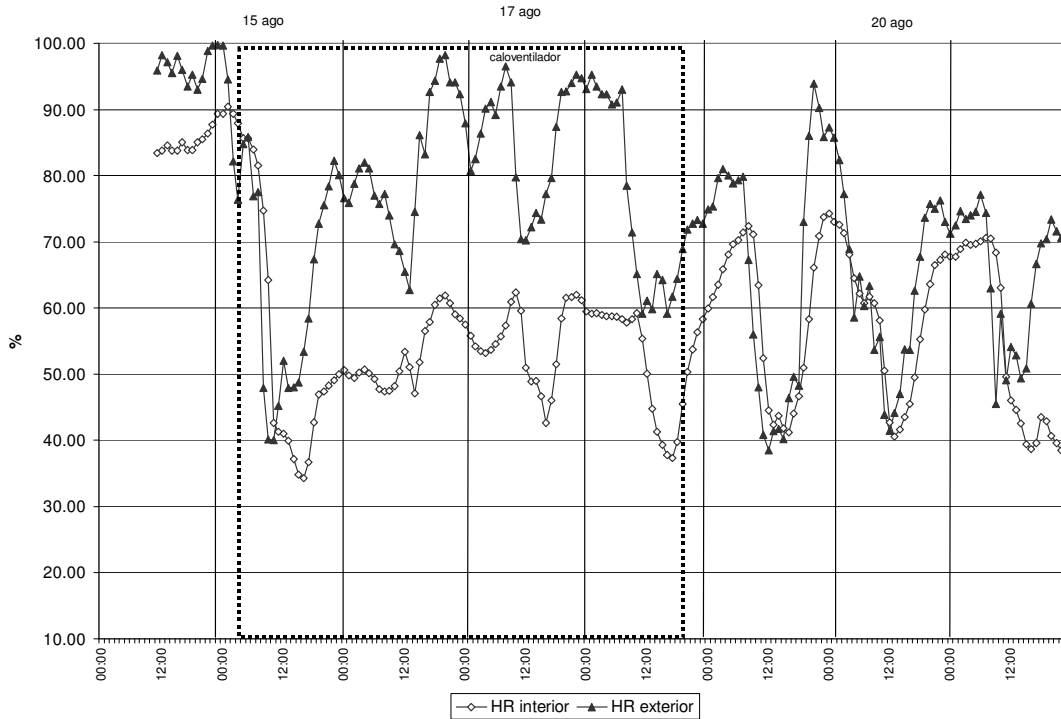


Fig.7.II.67: Humedad relativa exterior e interior horaria con calefacción y tapeado de ventana. Semana 35: del 14 de agosto al 21 de agosto de 2006

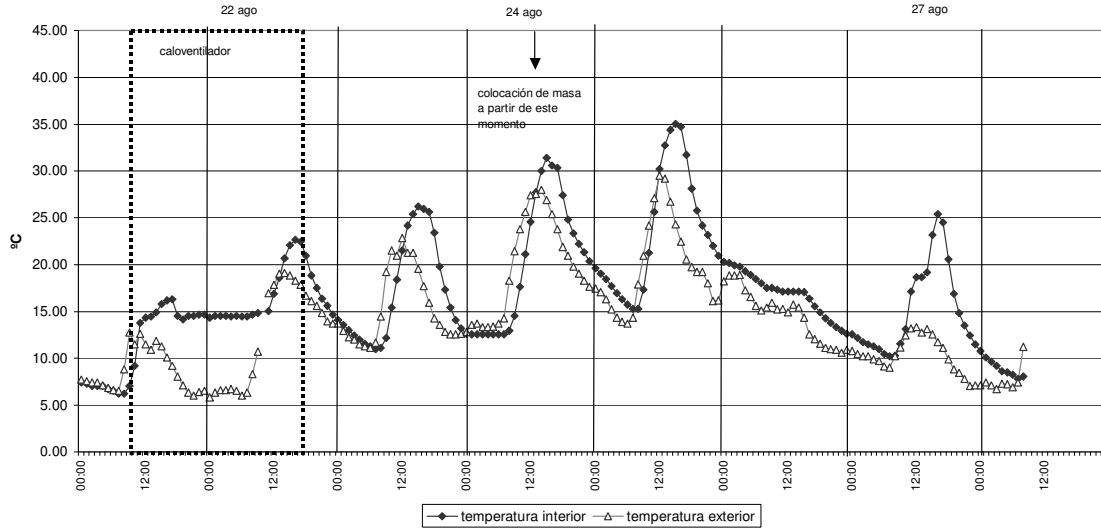


Fig.7.II.68: Temperatura exterior e interior horaria con calefacción, masa y tapeado de ventana. Semana 36: del 21 de agosto al 28 de agosto de 2006

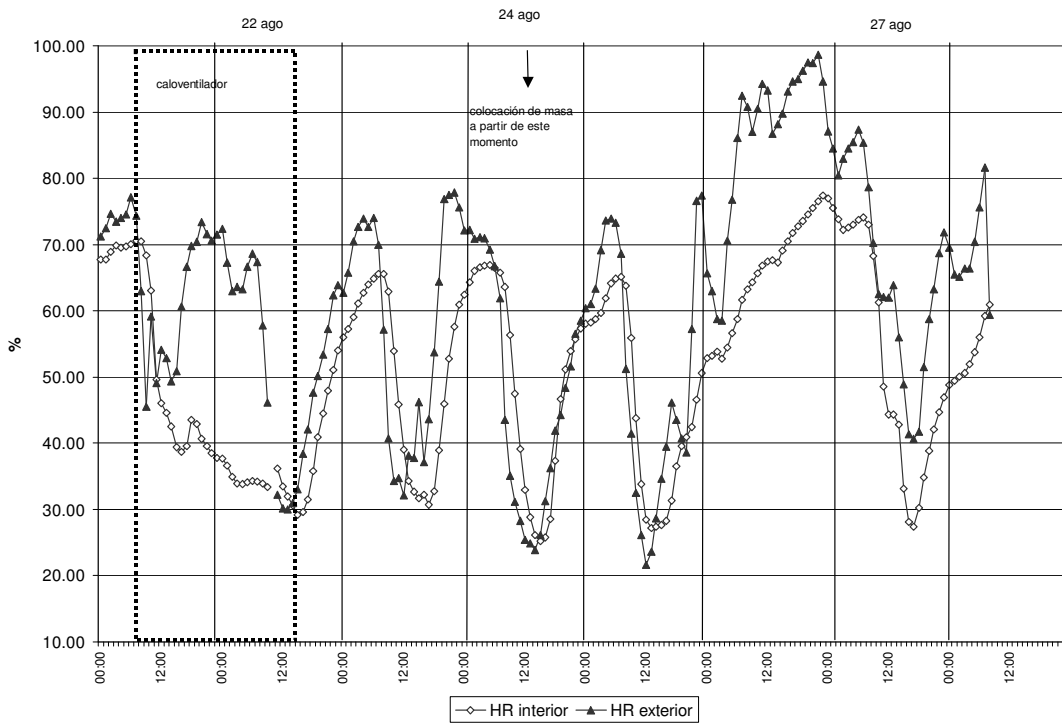


Fig.7.II.69: Humedad relativa exterior e interior horaria con calefacción, masa y tapeado de ventana. Semana 36: del 21 de agosto al 28 de agosto de 2006

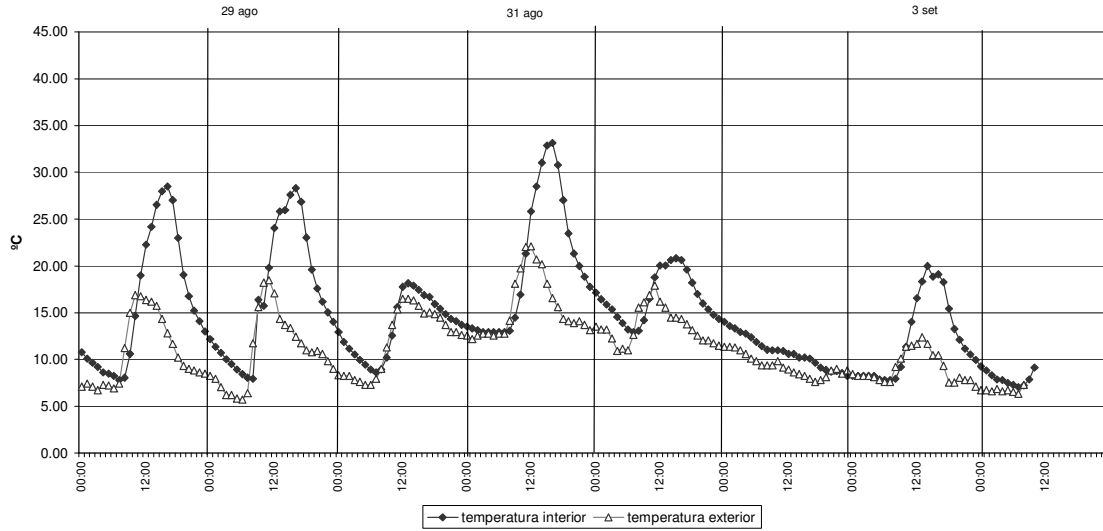


Fig.7.II.70: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 37: del 28 de agosto al 4 de setiembre de 2006

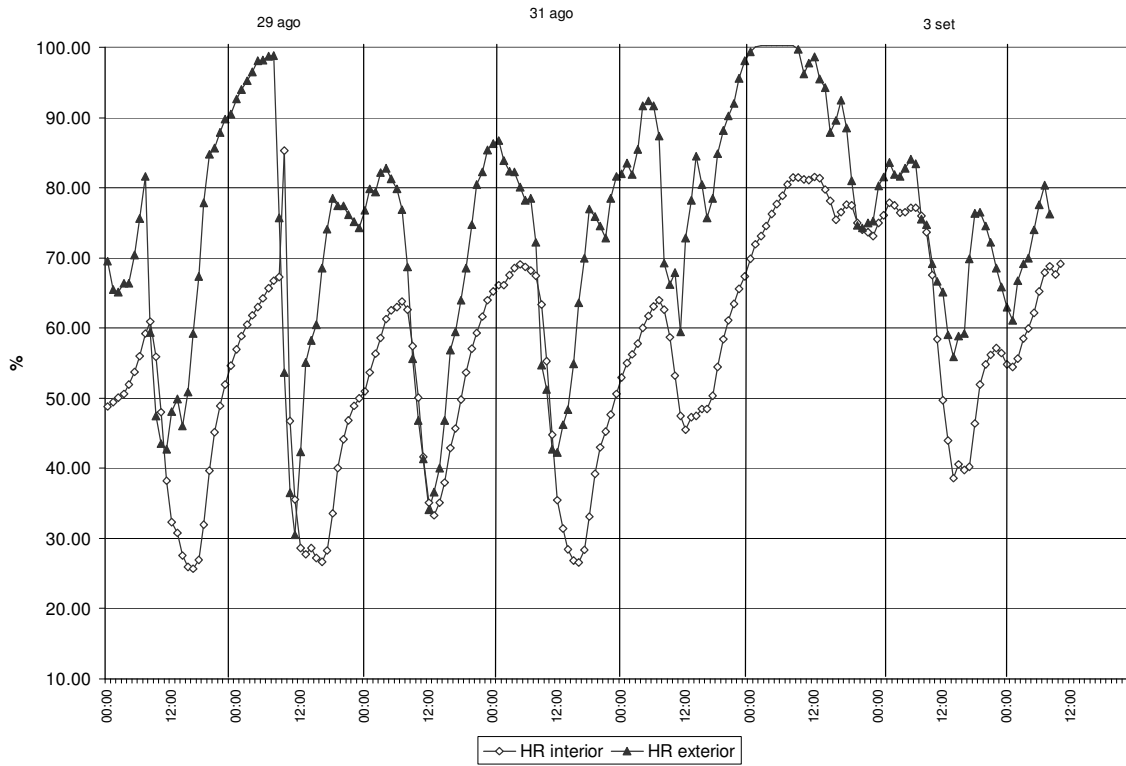


Fig.7.II.71: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 37: del 28 de agosto al 4 de setiembre de 2006

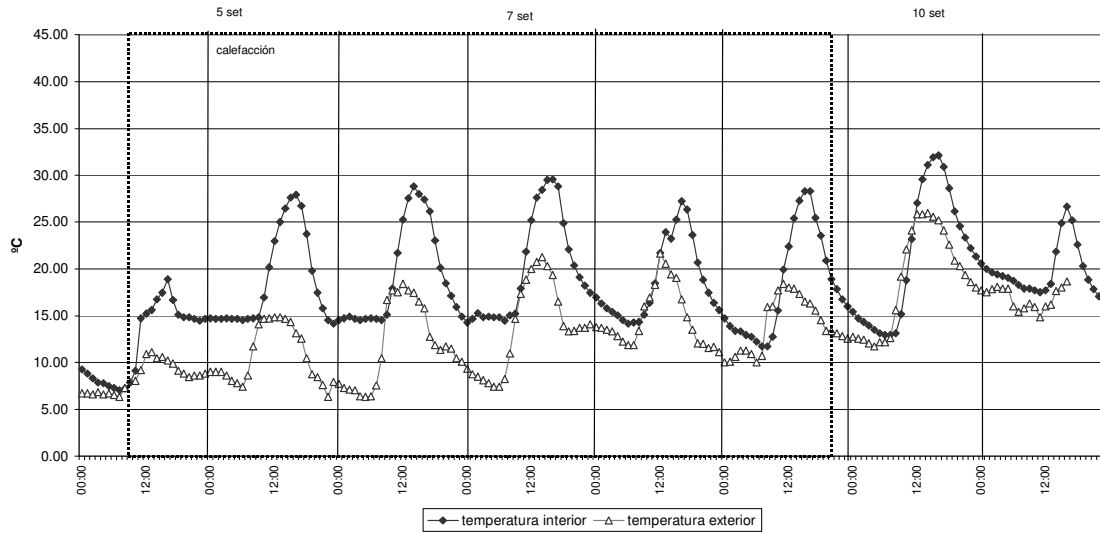


Fig.7.II.72: Temperatura exterior e interior horaria con masa y calefacción. Semana 38: del 4 de setiembre al 11 de setiembre de 2006

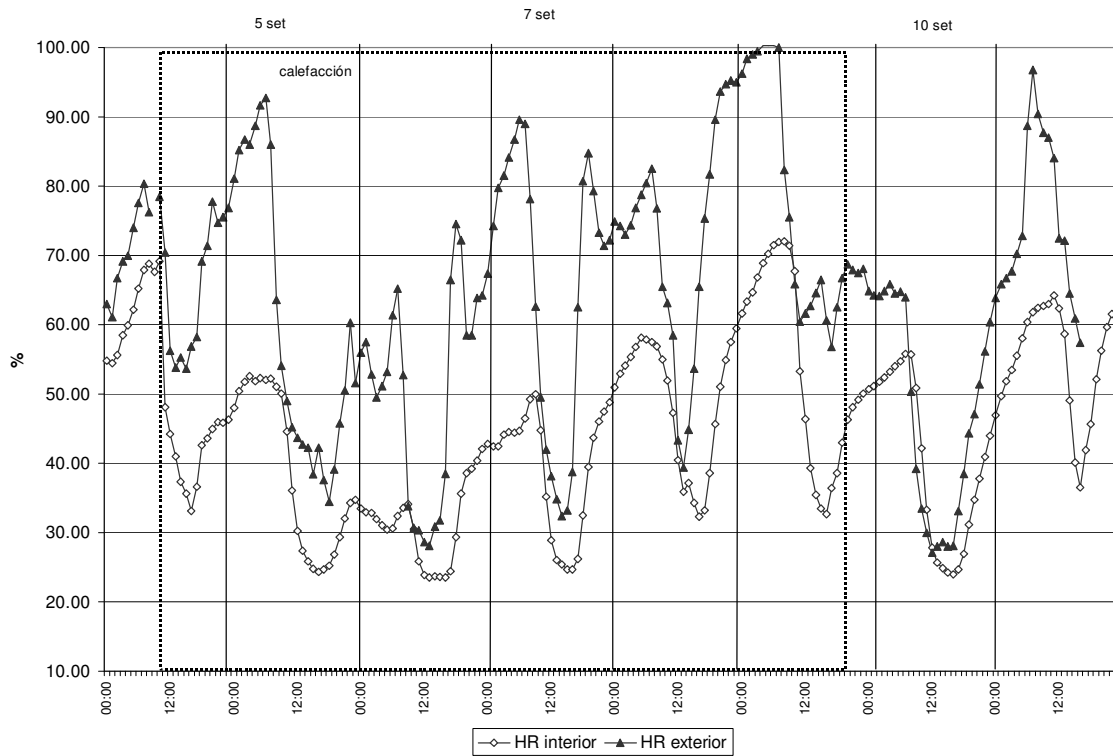


Fig.7.II.73: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa y calefacción. Semana 38: del 4 de setiembre al 11 de setiembre de 2006

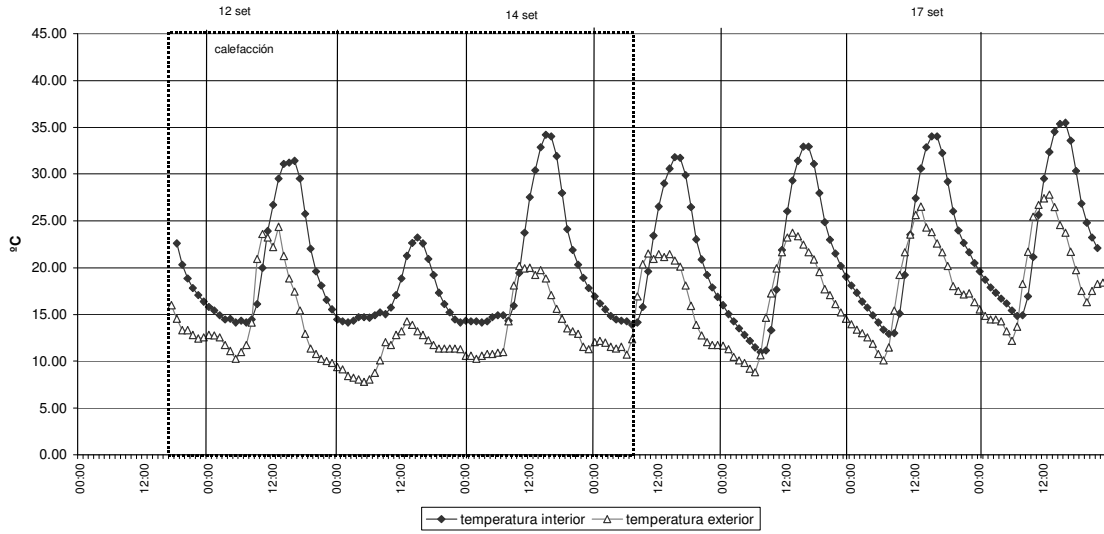


Fig.7.II.74: Temperatura exterior e interior horaria con masa y calefacción. Semana 39: del 11 de setiembre al 18 de setiembre de 2006

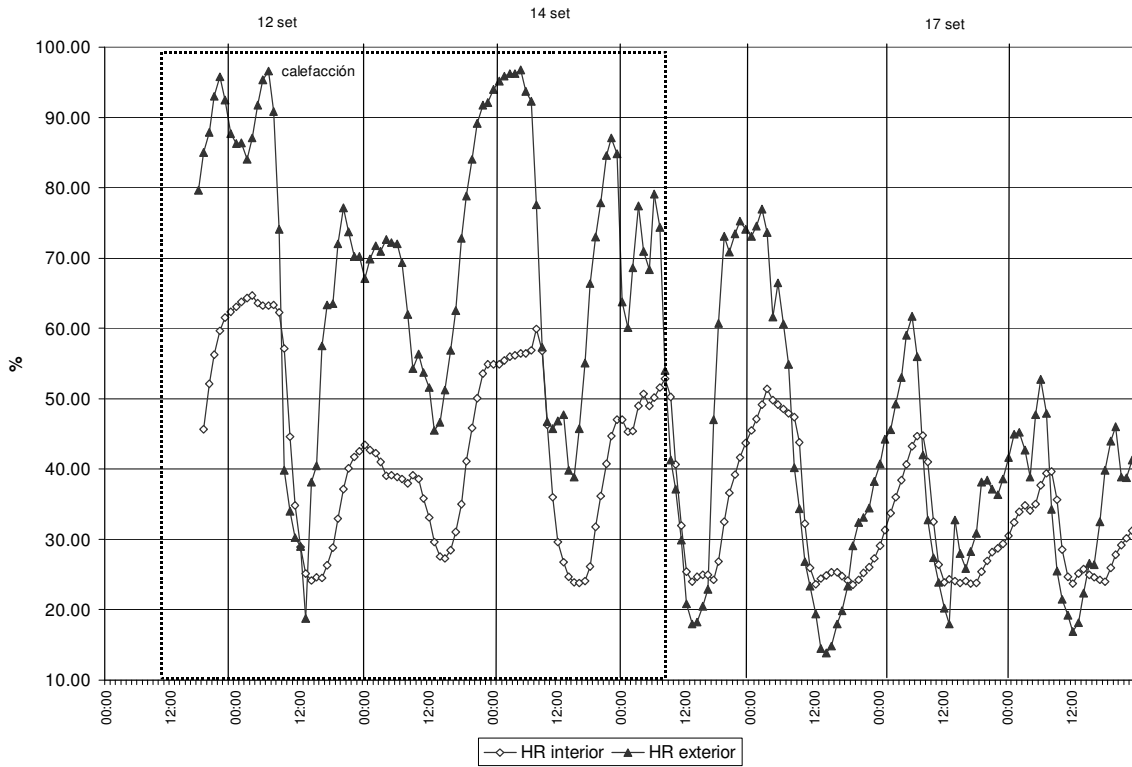


Fig.7.II.75: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa y calefacción. Semana 39: del 11 de setiembre al 18 de setiembre de 2006



Capítulo 7:

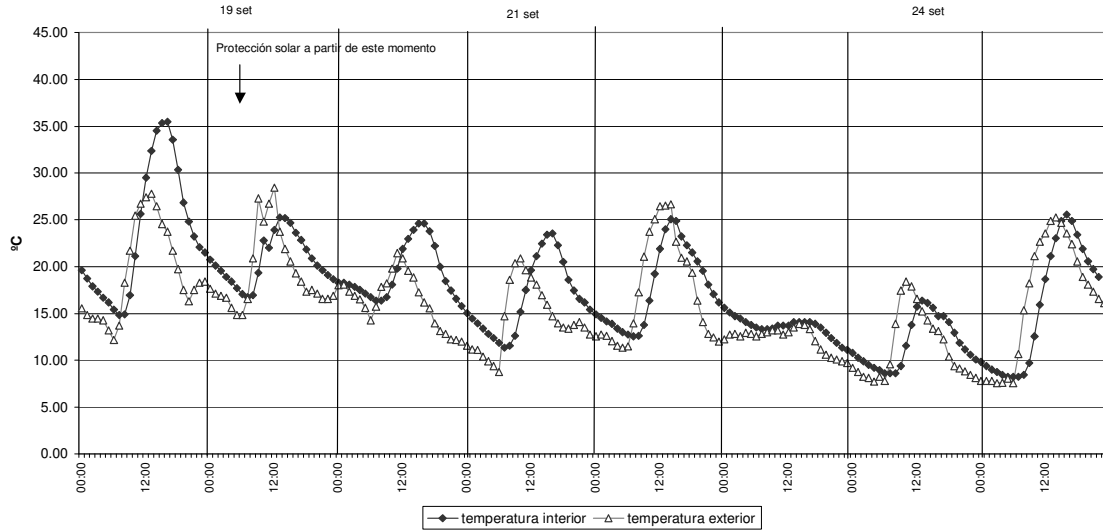


Fig.7.II.76: Temperatura exterior e interior horaria con masa y protección solar. Semana 40: del 18 de setiembre al 24 de setiembre de 2006

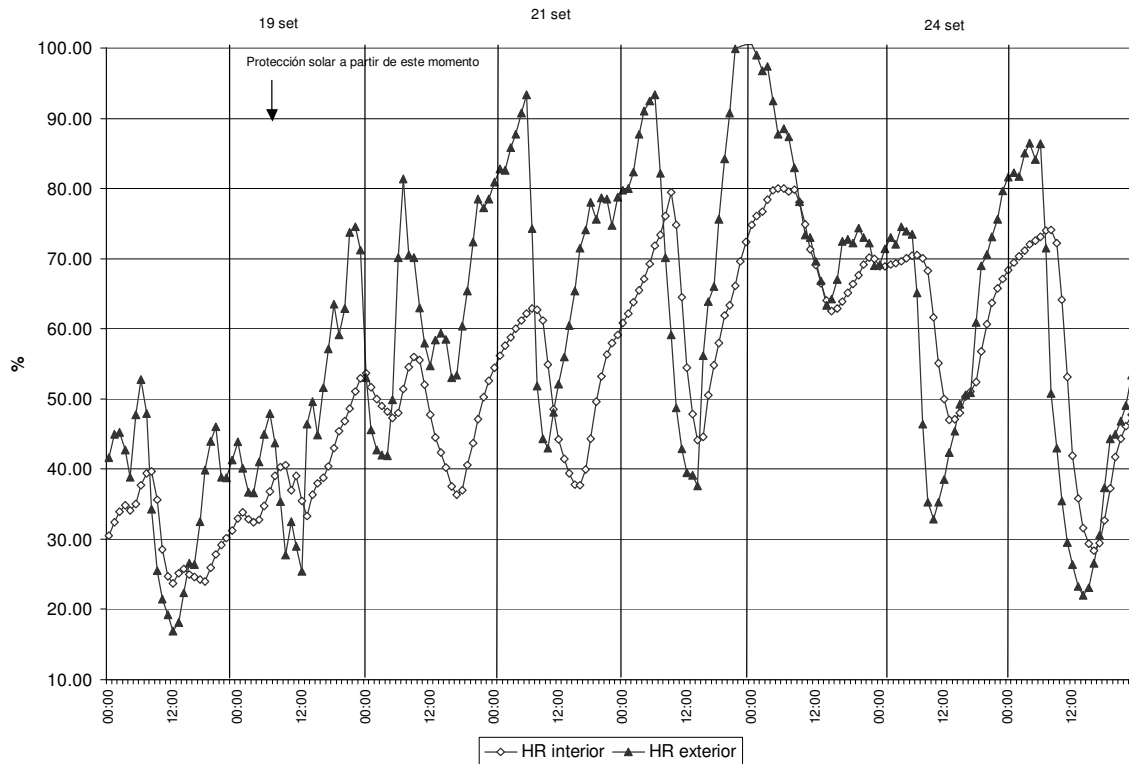


Fig.7.II.77: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa y protección solar. Semana 40: del 18 de setiembre al 24 de setiembre de 2006

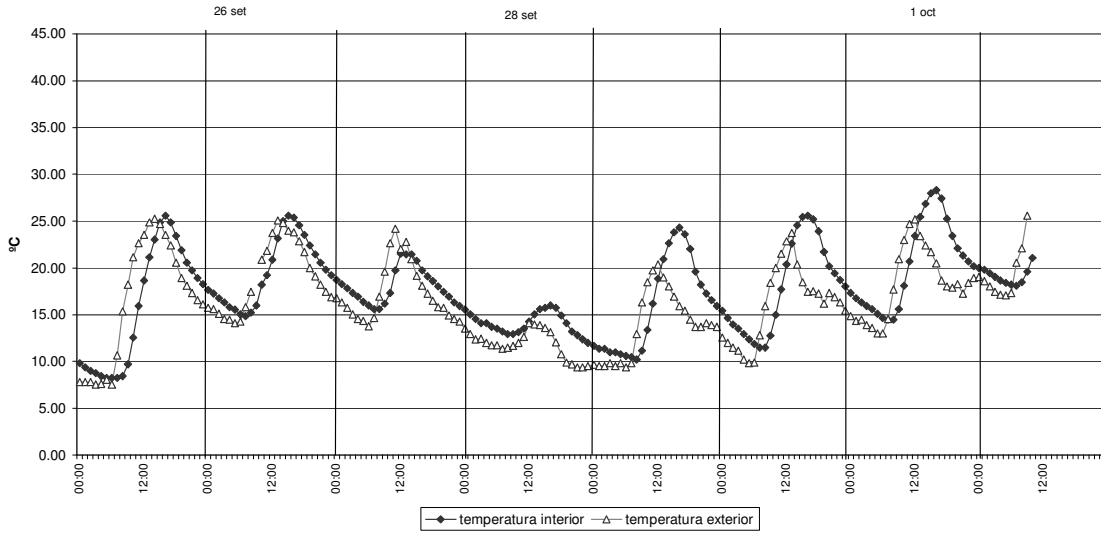


Fig.7.II.78: Temperatura exterior e interior horaria con masa y protección solar. Semana 41: del 24 de setiembre al 2 de octubre de 2006

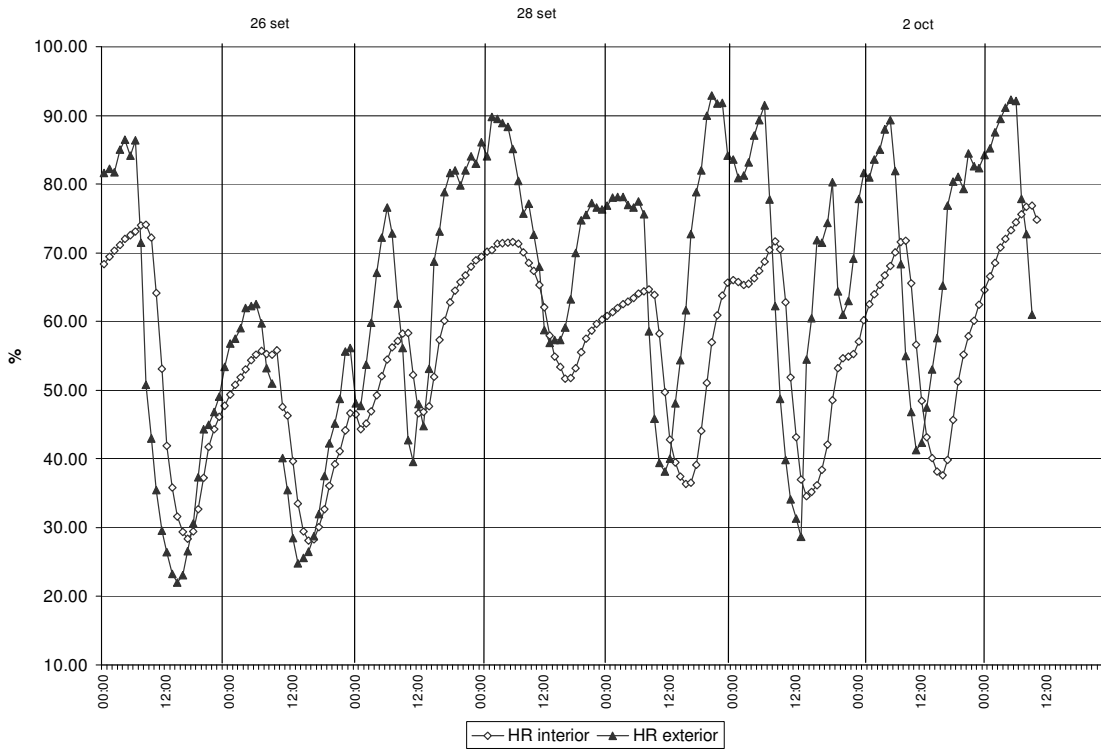


Fig.7.II.79: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa y protección solar. Semana 41: del 24 de setiembre al 2 de octubre de 2006

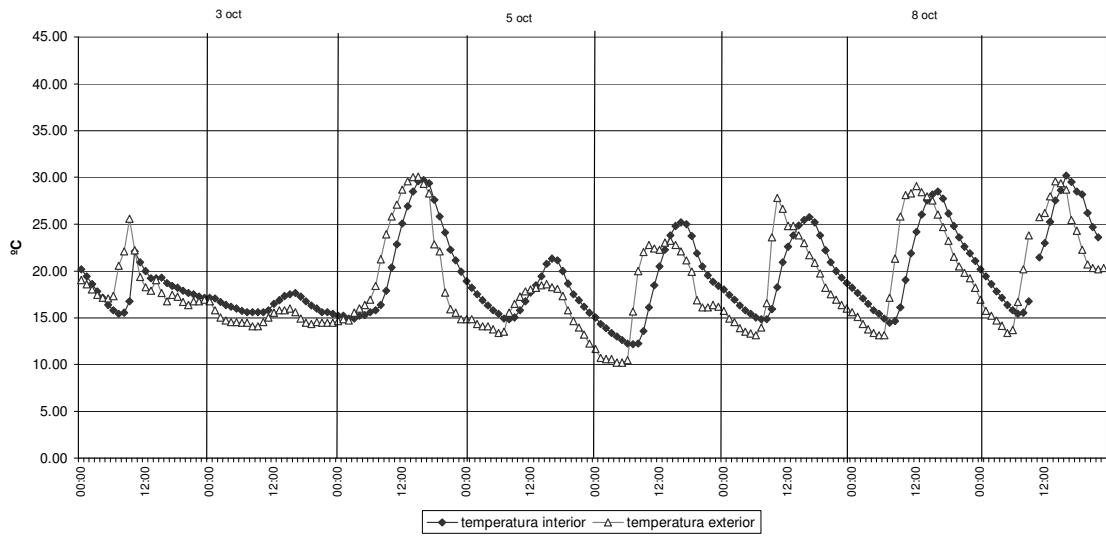


Fig.7.II.80: Temperatura exterior e interior horaria con masa y protección solar. Semana 42: del 2 de octubre al 9 de octubre de 2006

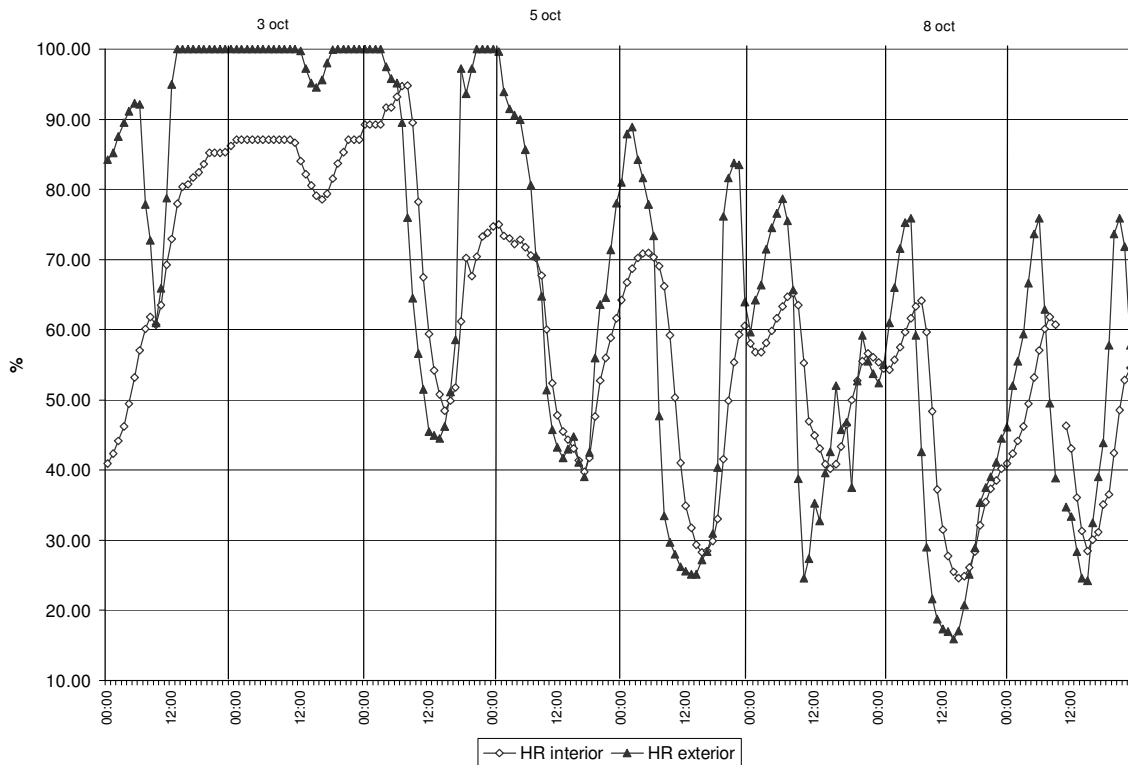


Fig.7.II.81: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa y protección solar. Semana 42: del 2 de octubre al 9 de octubre de 2006

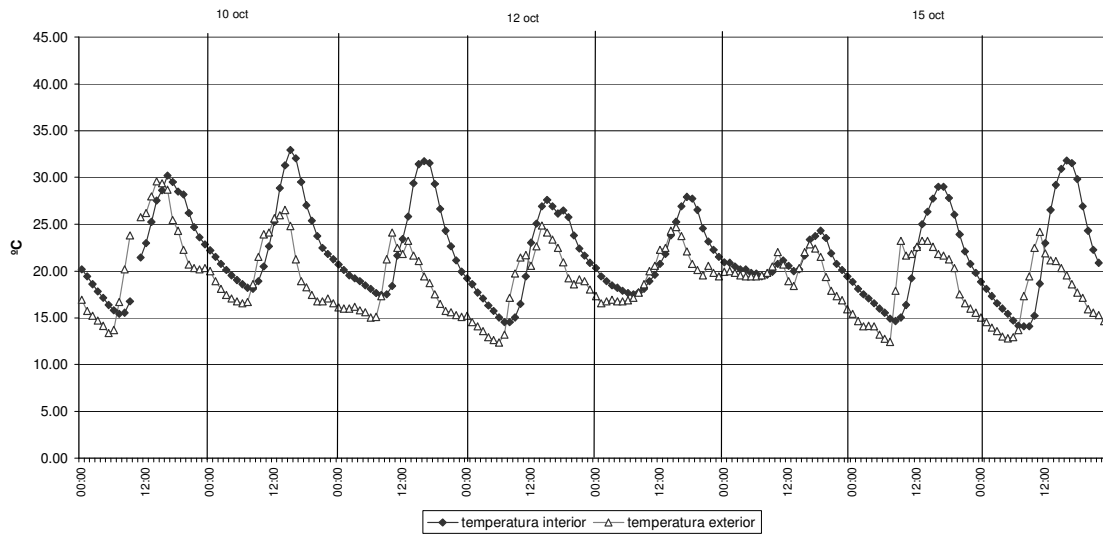


Fig.7.II.82: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 43: del 9 de octubre al 16 de octubre de 2006

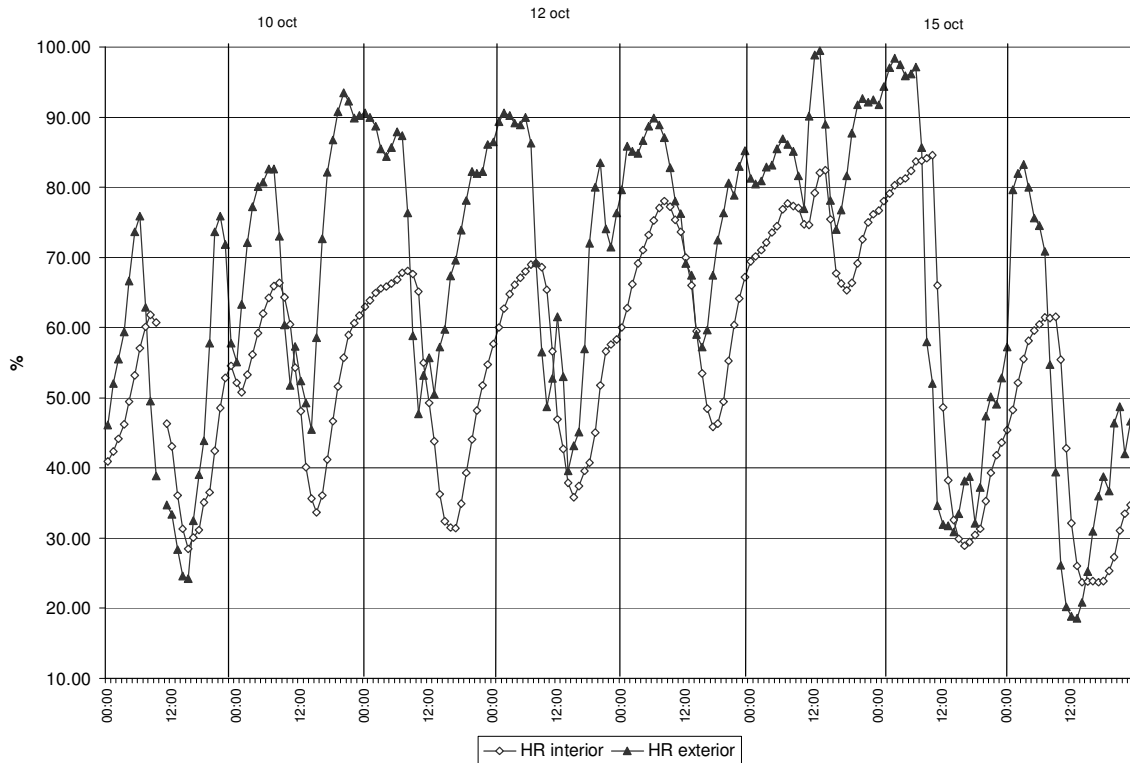


Fig.7.II.83: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 43: del 9 de octubre al 16 de octubre de 2006

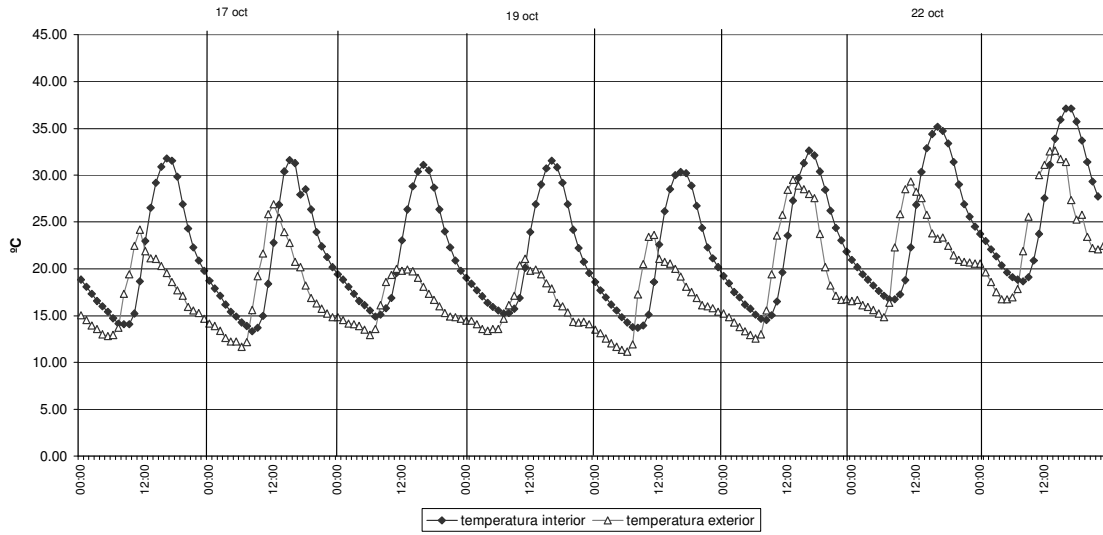


Fig.7.II.84: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 44: del 16 de octubre al 23 de octubre de 2006

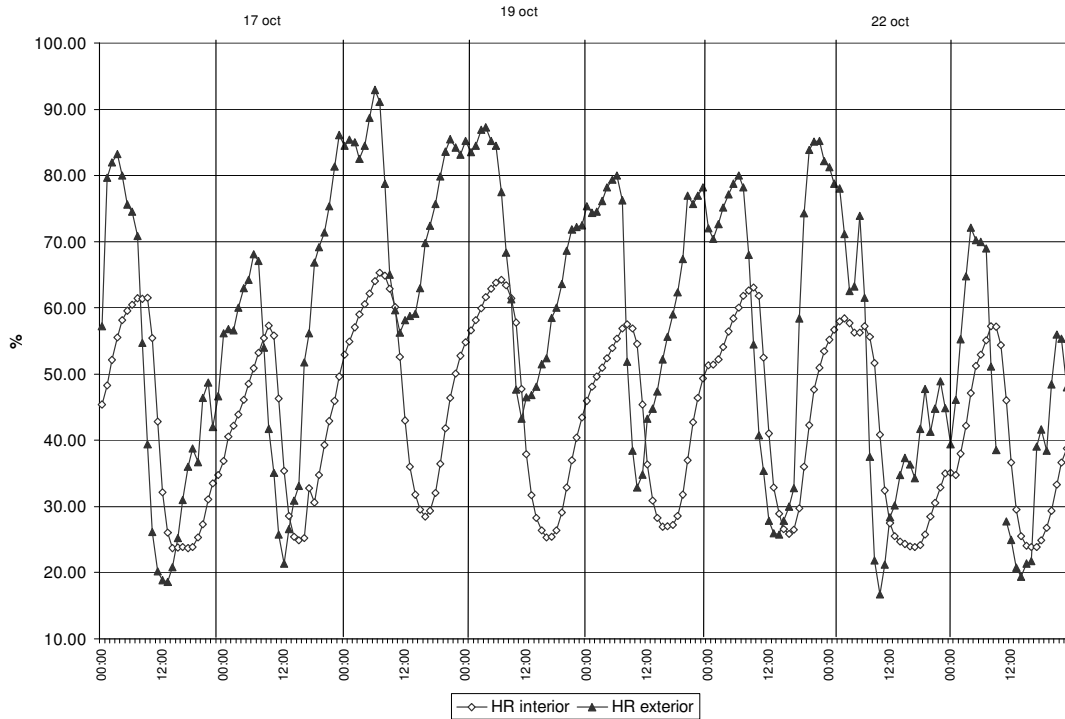


Fig.7.II.85: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 44: del 16 de octubre al 23 de octubre de 2006

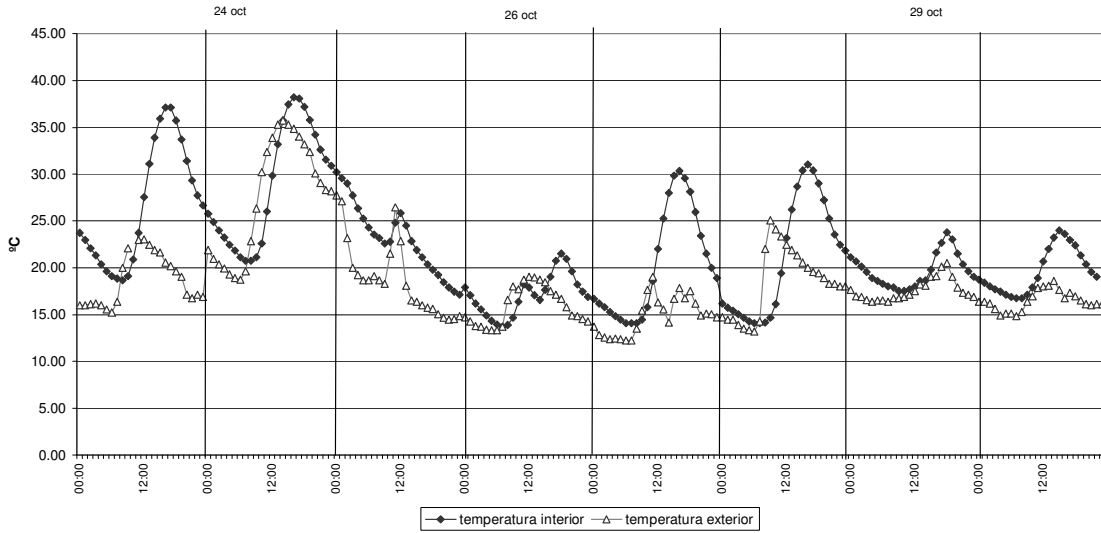


Fig.7.II.86: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 45: del 23 de octubre al 30 de octubre de 2006

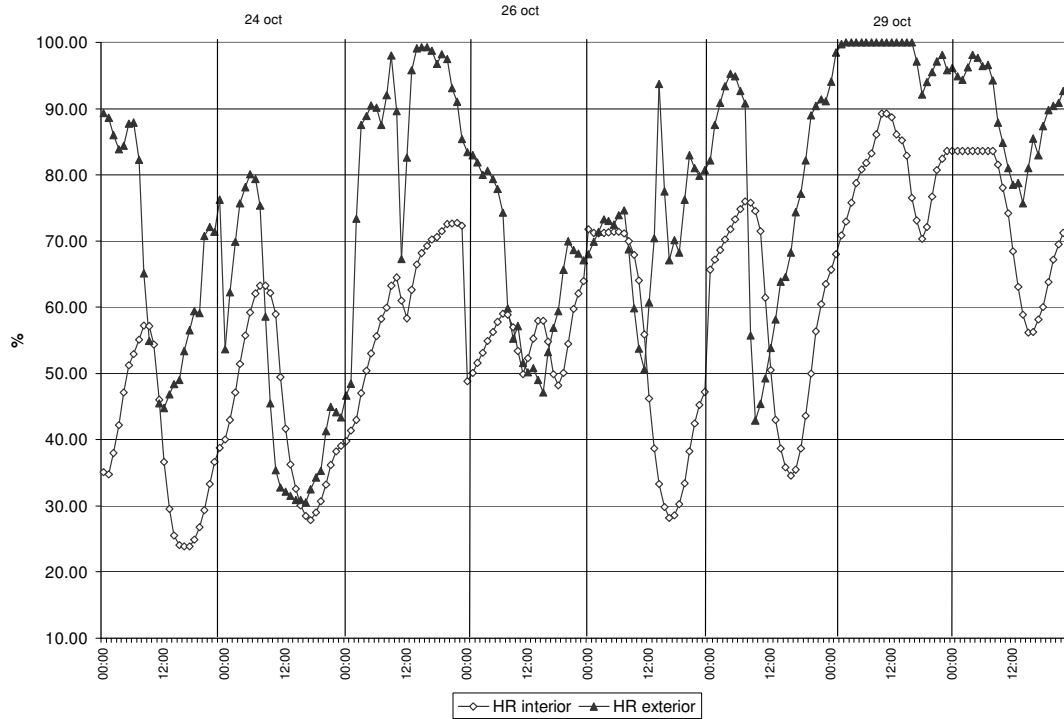


Fig.7.II.87: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 45: del 23 de octubre al 30 de octubre de 2006

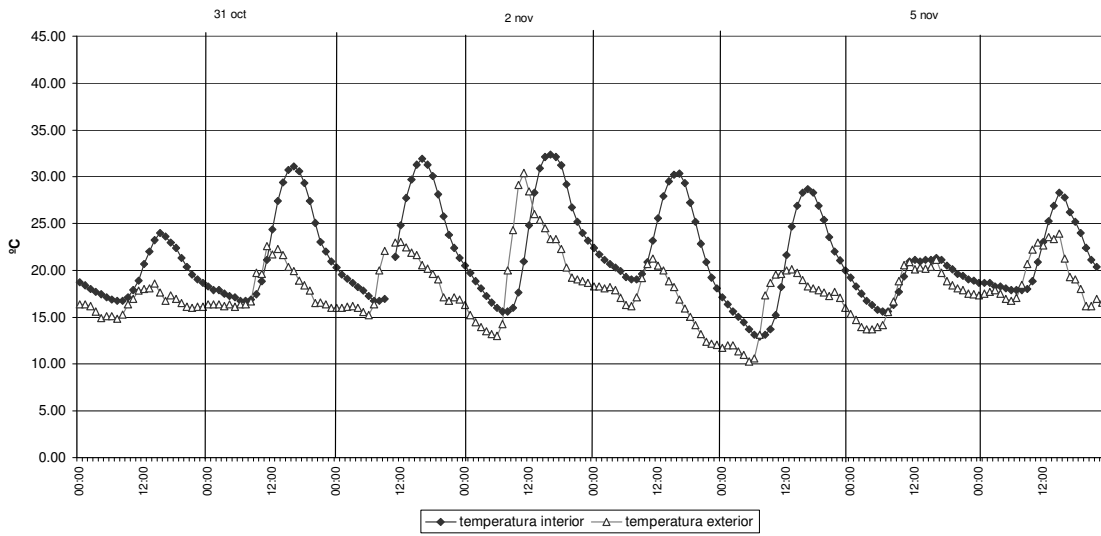


Fig.7.II.88: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 46: del 30 de octubre al 6 de noviembre de 2006

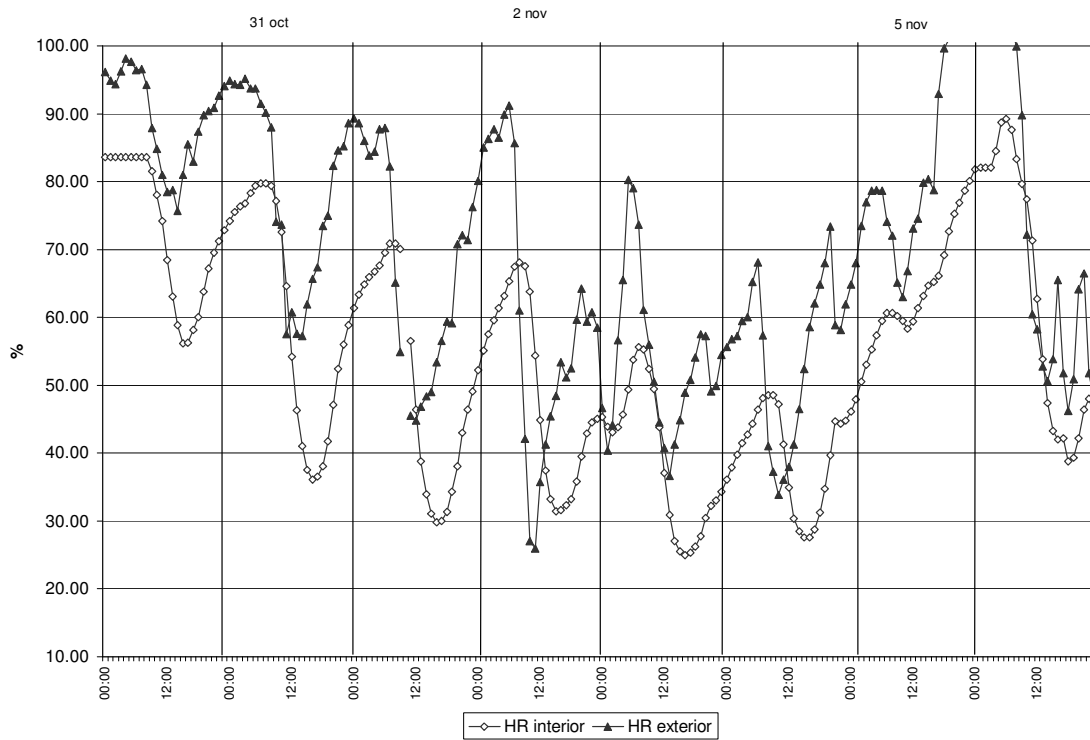


Fig.7.II.89: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 46: del 30 de octubre al 6 de noviembre de 2006

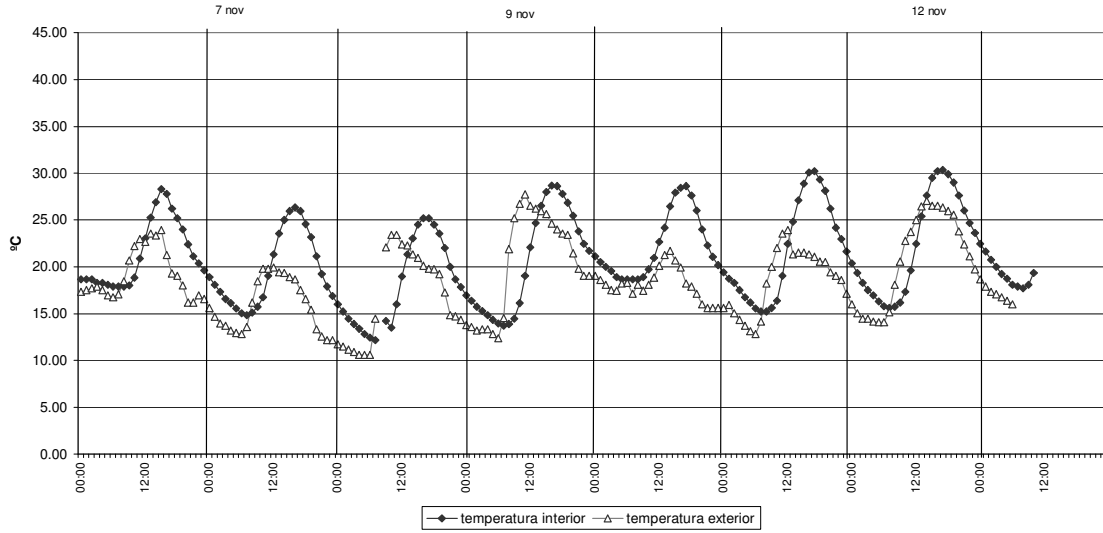


Fig.7.II.90: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 47: del 6 de noviembre al 13 de noviembre de 2006

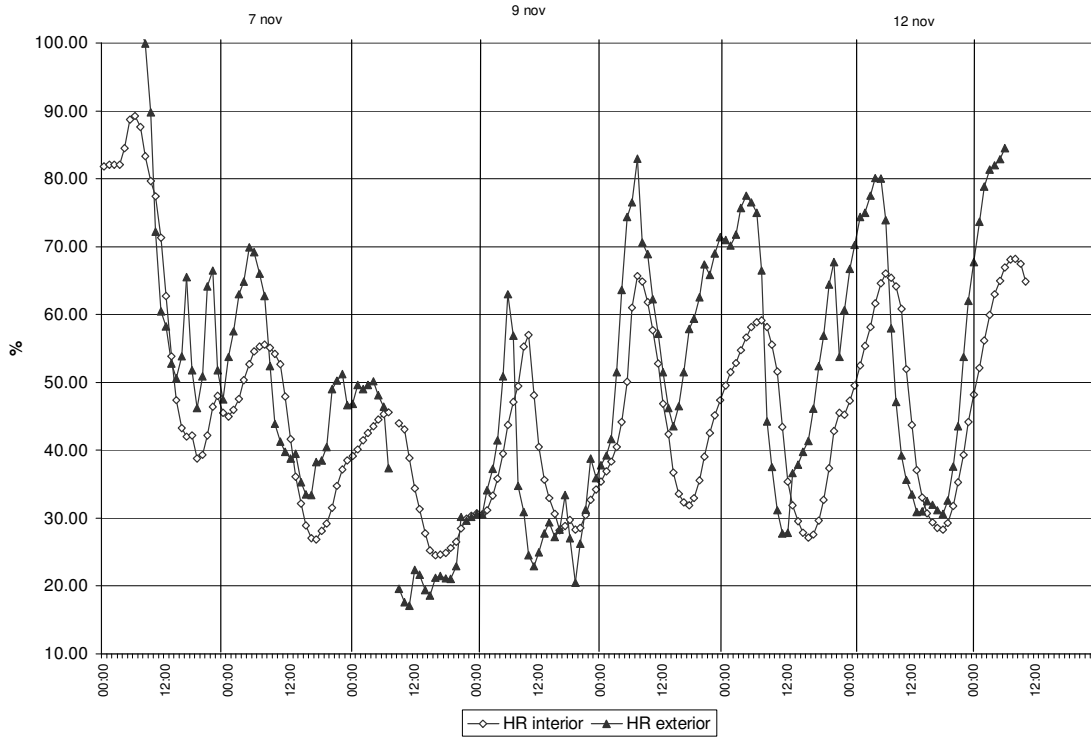


Fig.7.II.91: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 47: del 6 de noviembre al 13 de noviembre de 2006



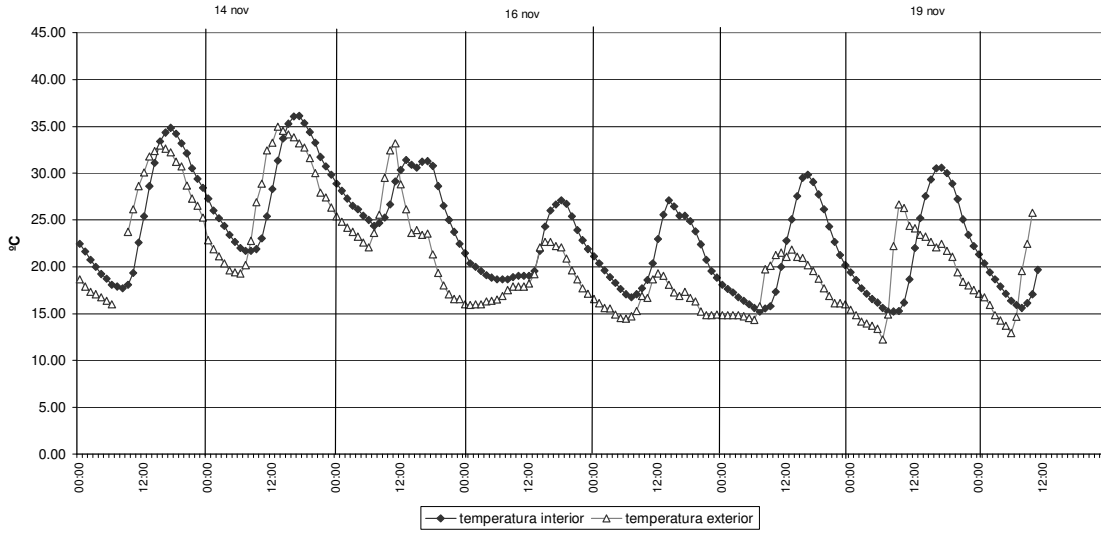


Fig.7.II.92: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 48: del 13 de noviembre al 20 de noviembre de 2006

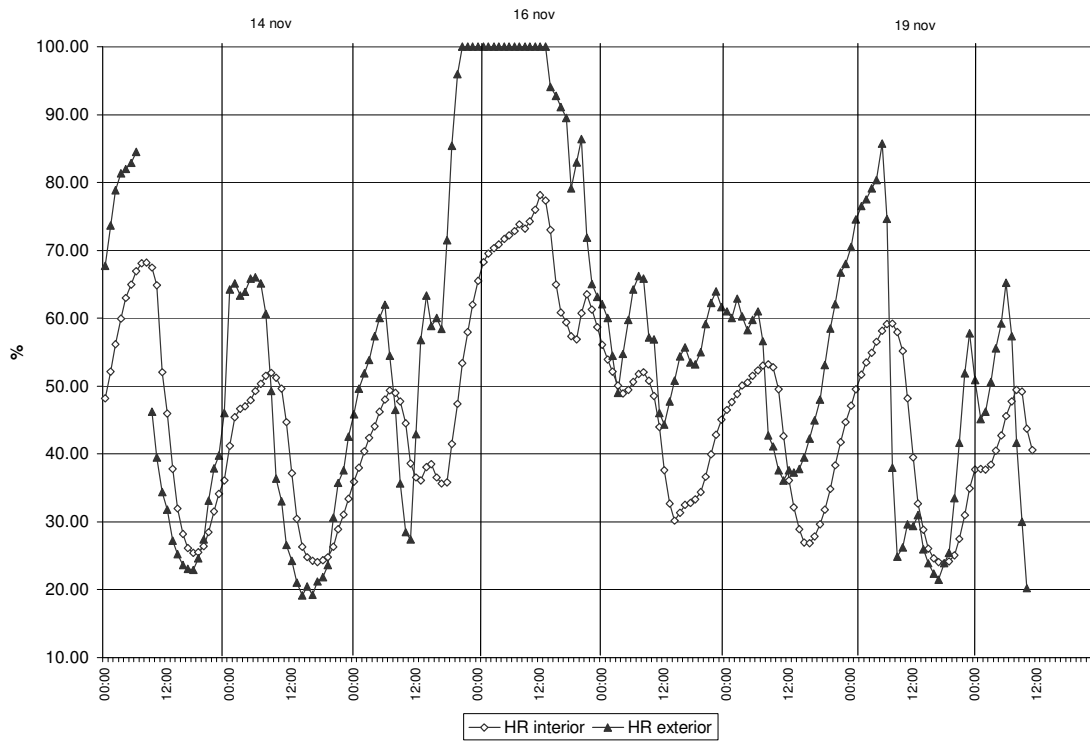


Fig.7.II.93: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 48: del 13 de noviembre al 20 de noviembre de 2006

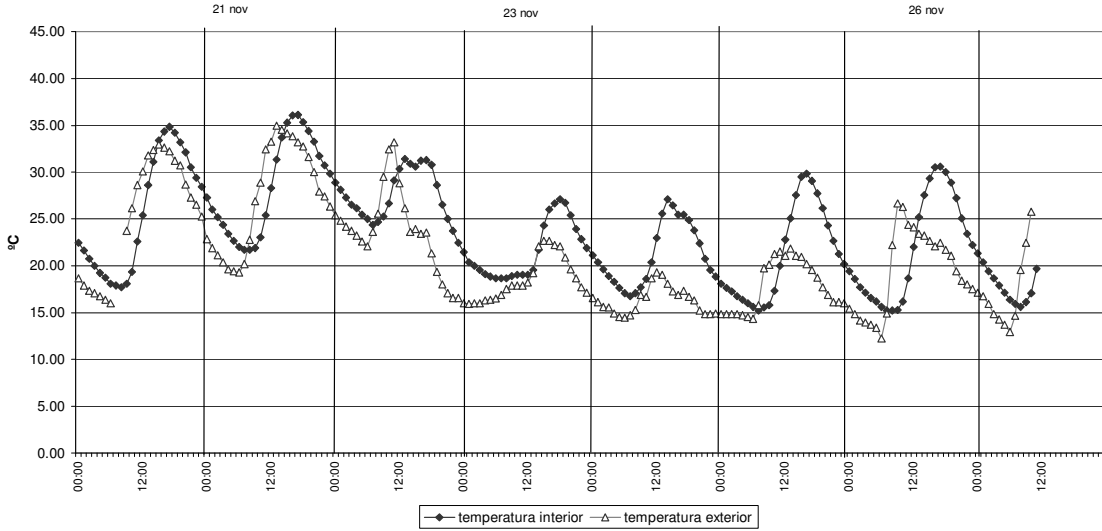


Fig.7.II.94: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 49: del 20 de noviembre al 27 de noviembre de 2006

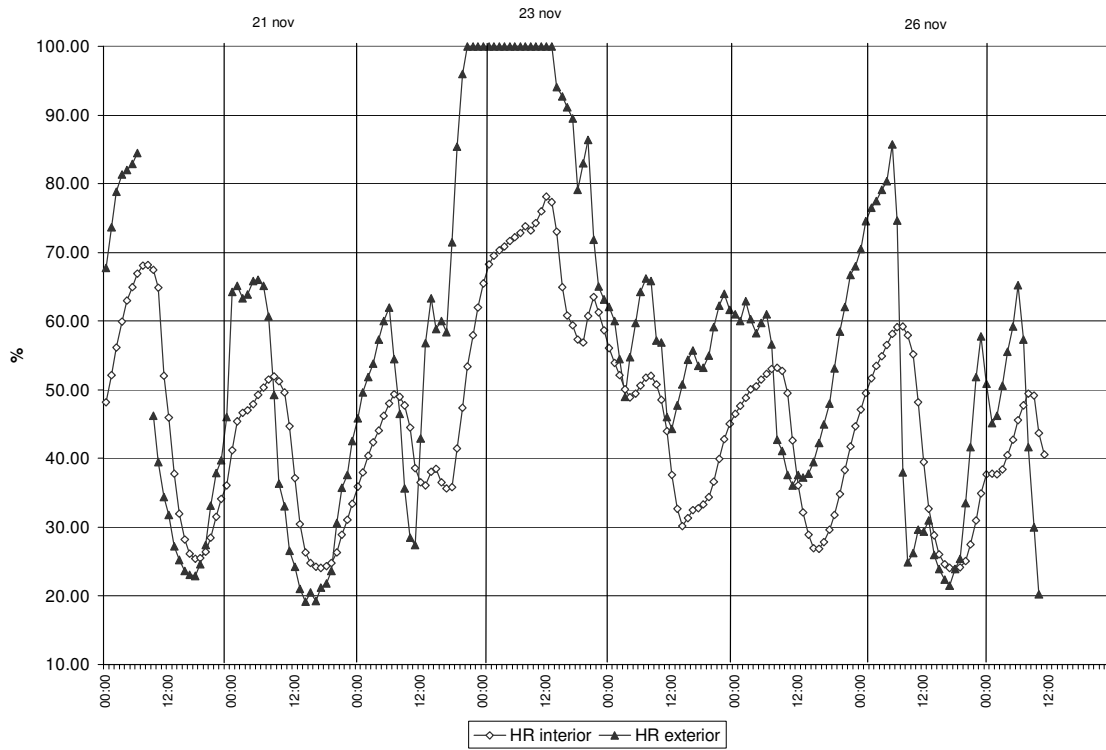


Fig.7.II.95: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 49: del 13 de noviembre al 20 de noviembre de 2006

Capítulo 7:

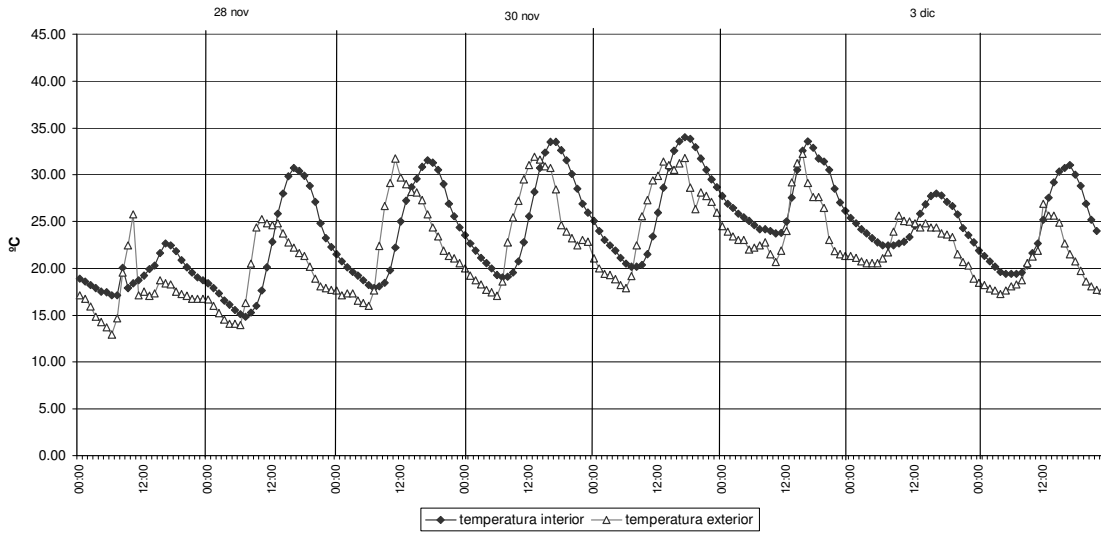


Fig.7.II.96: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 50: del 27 de noviembre al 4 de diciembre de 2006

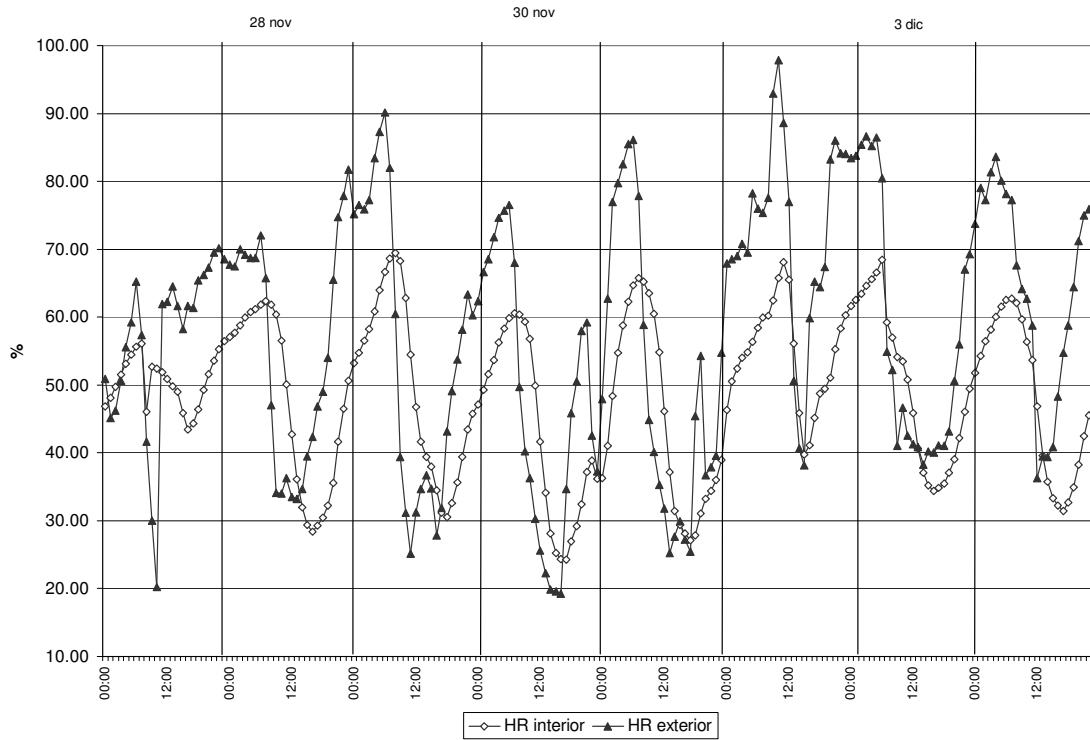


Fig.7.II.97: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 50: del 27 de noviembre al 4 de diciembre de 2006

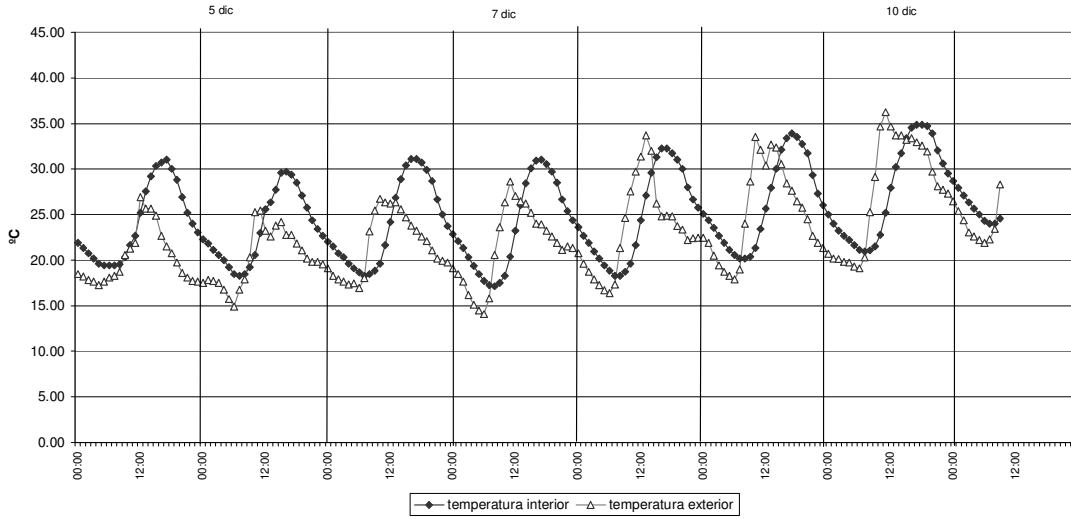


Fig.7.II.98: Temperatura exterior e interior horaria con masa. Semana 51: del 4 de diciembre al 11 de diciembre de 2006

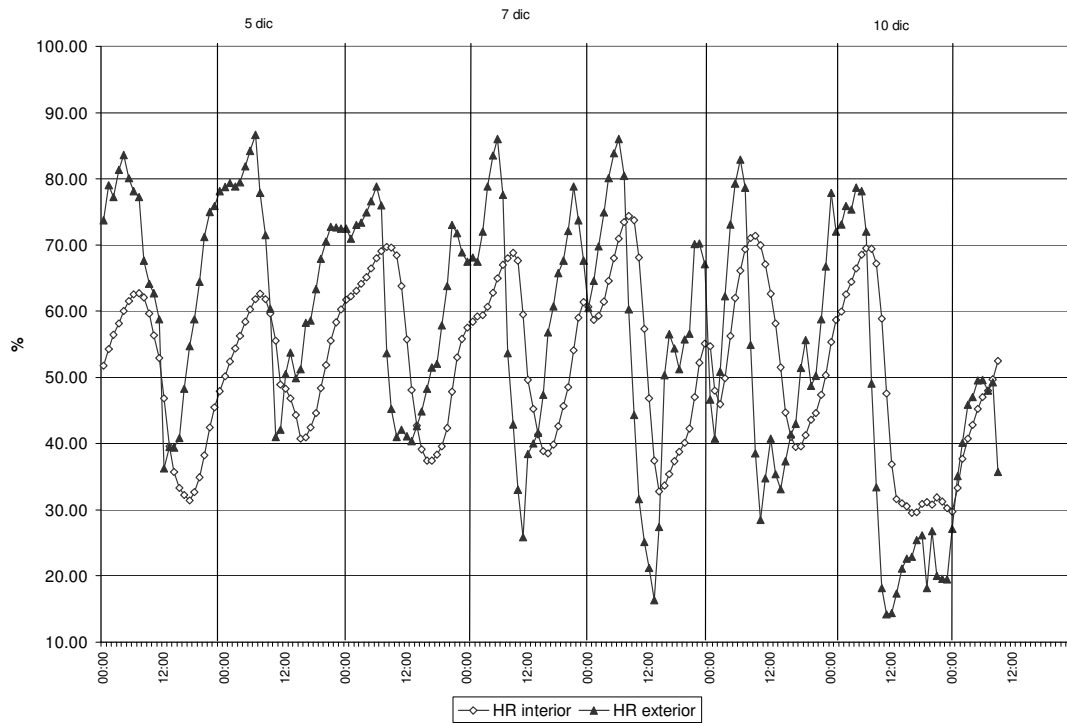


Fig.7.II.99: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa. Semana 51: del 4 de diciembre al 11 de diciembre de 2006

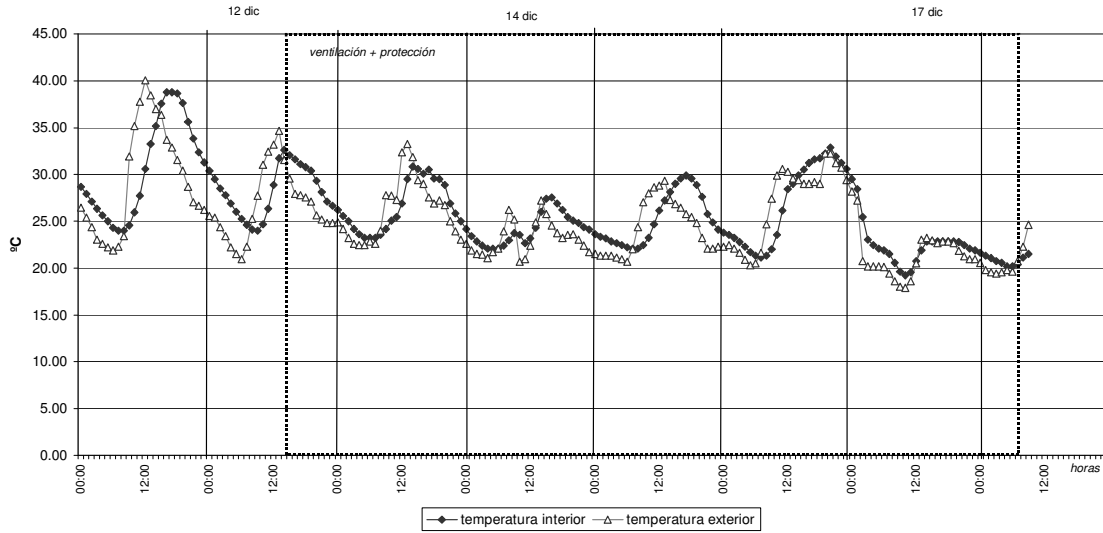


Fig.7.II.100: Temperatura exterior e interior horaria con masa, protección y ventilación. Semana 52: del 11 de diciembre al 18 de diciembre de 2006

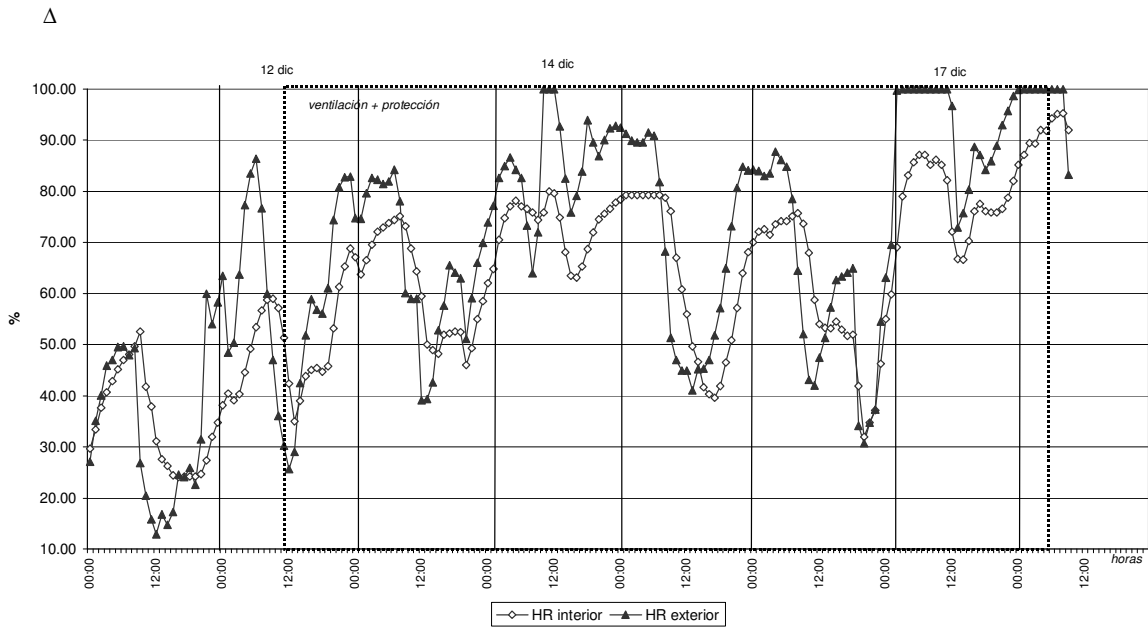


Fig.7.II.101: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa, protección y ventilación. Semana 52: del 11 de diciembre al 18 de diciembre de 2006

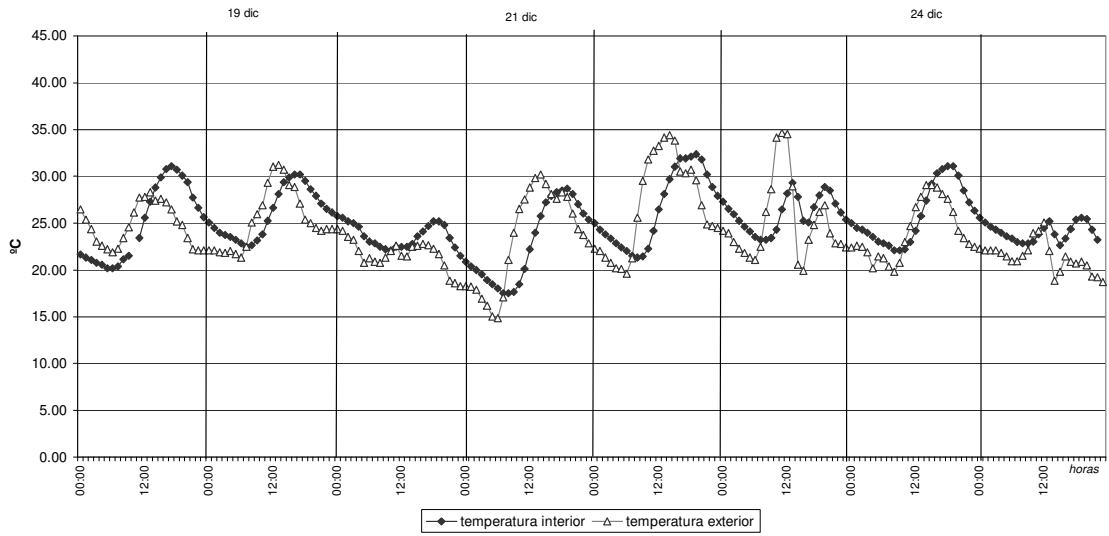


Fig.7.II.102: Temperatura exterior e interior horaria con masa y protección. Semana 53: del 18 de diciembre al 25 de diciembre de 2006

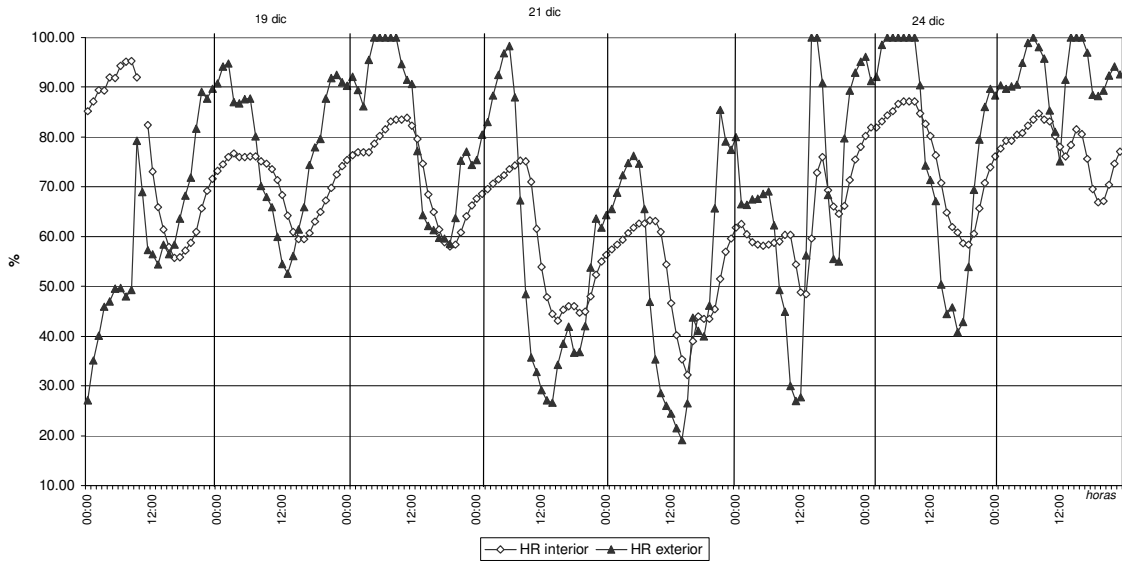


Fig.7.II.103: Humedad relativa exterior e interior horaria con masa y protección. Semana 53: del 18 de diciembre al 25 de diciembre de 2006

## Anexos III

---

### Programa Archisun 3.0

*El programa Archisun 3.0 (Serra et al 1999) fue desarrollado en el marco del Programa Europeo Thermie. Simula temperaturas medias para las cuatro estaciones del año, dando también resultados de iluminación natural, nivel de ruido interior y consumos y rendimientos para calefacción, refrigeración, luz, agua caliente y cocina, según distintos tipos de energía.*

A continuación a manera de ejemplo se presenta la serie de pasos que fueron desarrollados para poder ingresar el prototipo liviano en estudio.

#### DATOS DE ENTRADA

Objetivo: Se desea simular el comportamiento térmico del prototipo liviano en el período frío y el caluroso.

##### 0. Datos básicos

Los datos básicos solicitados por el programa se encuentran en la pantalla principal, pudiéndose modificar en cualquier momento. Éstos son:

- volumen del local
- cantidad de personas
- uso del edificio.

Este último tiene cuatro opciones: permanente, ocasional, administrativo y otros. Dentro de esta última opción se especifican los horarios de uso para cada período y la cantidad de ocupantes.

Los datos ingresados para el proyecto fueron los siguientes:

- Volumen: 25 m<sup>3</sup>(\*)
- Cantidad de personas: 0(\*\*)
- uso del edificio(\*\*)

(\*) *el volumen ingresado es el mínimo que admite el programa, siendo el que le corresponde al prototipo en estudio 17 m<sup>3</sup>*

(\*\*) *la cantidad de personas y el uso del edificio se ingresaron representando la situación del prototipo, es decir sin ocupación.*

##### 1. Localización geográfica

En esta pantalla se especifican los datos climáticos de la ciudad en que se quiere realizar la simulación.

Montevideo no se encuentra en las ciudades de referencia por lo que se toma una ciudad similar en latitud (pero en otro hemisferio), en este caso Sevilla y se modifican los datos de altura sobre el nivel del mar y densidad urbana.

El resto de los datos requeridos se ingresan manualmente. Para cada una de las cuatro estaciones se solicita:

- días de duración
- secuencia de nubosidad (cantidad de días tipo a, b ó c .Se necesitó determinar una serie de 14 días con cielos claros, nubosos y cubiertos).

Para Montevideo, se calculó a partir de los datos del TRY de Montevideo, en la fig 7.3.1, se ven los resultados del procesamiento.

**TRY Montevideo 1993**

Período: Secuencia de 14 días	<b>INVIERNO</b> ababbaababba		<b>VERANO</b> bbbaababbaaba	
	Tipo a	Tipo b	Tipo a	Tipo b
Radiación W/m <sup>2</sup>	182.00	133.00	57.00	46.00
Temp °C	13.20	11.80	21.66	22.27
dt= amplitud °C	0.00	1.40	4.50	3.79
HR %	69.27	77.51	74.96	75.08
Velocidad de viento m/s	9.30	10.30	6.35	6.70
desvw	0.00	0.00	3.02	3.99
Dviento 0= N	150.00	140.00	135.89	133.73
ddviento	2.45	3.06	119.90	98.40
Nubosidad (prom en décimos de cielo cubierto)	2.00	7.00	1.23	5.04
E (lux)	11000.00	8000.00	8000.00	8000.00
L (dba)	78.00	76.00	78.00	76.00

## Nota:

Se asume radiación media repartido AT01-2000 página 15.00

Tipo a =cielo claro

Tipo b= cielo medio

Radiación para el 04 de junio

Fig: 7. III.1. Datos climáticos de entrada

Para cada tipo de día se ingresan los datos de:

- radiación solar diaria media para el plano sur sin obstrucciones (en el caso de Montevideo corresponde al plano norte) – W/m<sup>2</sup>
- temperatura media de la estación - °C
- oscilación media diaria de la temperatura en la estación
- humedad relativa media de la estación
- velocidad media del viento en la estación – m/s
- dirección predominante en la que sopla el viento en la estación considerada
- oscilación media de la velocidad del viento para dicha estación
- iluminación total diaria medida en un plano horizontal en la estación - lux
- nivel de ruido medio en el entorno (este dato fue obtenido del estudio por zonas realizado por la Intendencia Municipal de Montevideo) - dBA

## 2. Entorno

En esta pantalla se define el entorno indicando la presencia de agua e identificando las obstrucciones (vegetación, geografía) según su tamaño y distancia relativa al prototipo en estudio. Se debe tener especial cuidado con la entrada de estos datos ya que el programa es sensible a la presencia de vegetación.

## 3. Forma

En este punto se definen la orientación y las características geométricas del prototipo en estudio:

- Esbeltez

Se define como la relación entre la altura total del edificio y el radio de la superficie media de la planta. Para el proyecto la valor de la esbeltez es 0.86 (ver fig. 7.III.2).

- Compacidad

Es la relación entre la longitud del perímetro de un círculo de superficie igual a la planta del edificio en estudio y el perímetro de la planta. En nuestro caso el valor de compacidad es de 0.86 (ver fig. 7.III.2).

- Alargamiento

Corresponde a la relación entre el lado corto y el lado largo de la planta. El valor ingresado según los datos del prototipo en estudio fue 0.62 (ver fig. 7.III.2).

- Porosidad



Definida como la relación de volumen equivalente de patios y el volumen total del edificio. Para este proyecto, al no existir patios, el valor es cero (ver fig. 7.III.2).

- Orientación

El programa fue desarrollado en el hemisferio norte, por lo que hay que considerar que la orientación norte de nuestra latitud corresponde a la orientación sur en el programa.

#### Archisun prototipo

Forma		
<i>compasidad (C) = Po/Pm</i>	C= 0.86	
Po= Perimeto de un circulo igual a la superficie de la planta		Pm=12 m
Pm= perimetro de la planta del edificio		área edificio= 8.54 m <sup>2</sup>
		$a' = 2\pi R$
		$R = \text{RAIZ}(8.54/\pi)$
		R=1.65
		Po= 2π1.65= 10.36
		C=10.36/12
<i>alargamiento (A)= lado corto sobre lado largo</i>	A=0.63	Lado corto=2.32 Lado largo= 3.68 A=2.32/3.68
<i>Porosidad (P) = relación equivalente de patios y el volumen edificio</i>	P=0	No hay patios
<i>Esbeltez (E) = relación entre altura y radio de circunferencia de p. tipo</i>	E=0.86	h prototipo= 2.33 m r= (3.68/2) r=1.84 E=2.33/1.84
Pero como el programa no permite colocar un valor mayor a 0.86, se asume este valor		

Fig: 7. III.2. Datos de entrada del módulo forma

#### 4. Piel

En esta pantalla se definen las características de la envolvente. Se especifican para cada orientación (incluyendo techo y piso) la cantidad de área y, cómo se divide ésta en transparente fija, opaca fija, transparente practicable, y opaca practicable. A su vez, para cada una de estas subdivisiones de ingresan datos de la característica de la envolvente según sea opaca o transparente, siendo común para todas ingresar los datos de transmitancia diurna, reflectancia y peso correspondiente a cada una (ver fig. 7.III.2).

**Archisun prototipo**

Piel

*Detalles de la superficie de piel***Datos generales de la envolvente**

	N	S	E	O
área en m2	7.7	7.7	5	5
asentamiento de la sup. del piso en m2	0	0.0	0	0
adosamiento en m2	0	0.0	0	0

**Datos específicos de las superficies que componen la envolvente****Superficies opacas:**

fijas		N	S	E	O
área en m2		7.7	4.7	5	5
K de día (transmitancia, W/m <sup>2</sup> °C)		0.33	0.33	0.33	0.33
reflectancia		0.9	0.9	0.9	0.9
peso (kg/m <sup>2</sup> )		34	34	34	34
posición del aislamiento (coeficiente)		0.9	0.9	0.9	0.9

## practicables

área en m2	0	1.6	0	0
K de día (transmitancia W/m <sup>2</sup> °C)	0	0.33	0	0
reflectancia	0	0.9	0	0
peso (kg/m <sup>2</sup> )	0	34	0	0
hermeticidad (tanto por mil)	0	3.5	0	0

**Superficies transparentes:**

fijas		N	S	E	O
K de día (transmitancia W/m <sup>2</sup> °C)		0	0.8	0	0
K de noche (transmitancia W/m <sup>2</sup> °C)		0	0.8	0	0
reflectancia		0	0.1	0	0
transparencia		0	0.8	0	0
factor de obstrucción		0	0.0	0	0
factor de protección		0	0.0	0	0
hermeticidad (tanto por mil)		0	3.3	0	0
peso (kg/m <sup>2</sup> )		0	8.0	0	0
activar protección cuando te mayor (°C)		0	40.0	0	0

Fig: 7. III.3. Datos de entrada del módulo piel

## 5. Interior

Se pide caracterizar el espacio interior según la cantidad de divisiones interiores, tanto verticales como horizontales. Debido a que el proyecto consta de una sola habitación, esta tarea no ofreció dificultades.

**DATOS DE SALIDA**

El programa provee dos tipos de resultados, unos en relación con el comportamiento térmico del edificio estudiado y otros respecto a los niveles de iluminación y sonoros dentro del edificio, calculando el consumo de energía de los diferentes sistemas de acondicionamiento, identificando a su vez los rendimientos según sea su fuente de energía.

Dentro de los resultados de simulación del comportamiento térmico, el programa entrega los datos de temperatura del aire interior media para cada una de las cuatro estaciones, representando gráficamente los valores diarios en un período de 14 días consecutivos. Así mismo se presentan como dato los valores de oscilación de la temperatura interior, iluminación media que se genera en el interior en un plano horizontal a 0,80 m del suelo y nivel medio de ruido interior.

A su vez, para cada estación, se muestran los resultados de temperatura exterior del aire, temperatura de sensación y temperatura de piel. También, se representan gráficamente los valores de radiación solar directa e indirecta, ganancias internas, coeficiente de ventilación y coeficiente de transmisión directa.

## CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL USO DEL PROGRAMA:

Es un programa amigable, que brinda una primera aproximación al desempeño térmico de los edificios.

### Del ingreso de los datos

- datos generales

Los datos generales que se ingresan al programa, tales como volumen y cantidad de personas, tienen que ser verificados cada vez que se carga el programa.

Antes de utilizar este programa se debe tener presente el volumen a ser simulado para descartarlo o utilizarlo como herramienta de simulación, ej en el caso del prototipo estudiado el volumen mínimo admitido es mayor (lo excede en un 51 %).

- datos climáticos

Se necesitó identificar para Montevideo una secuencia de 14 días en función del tipo de cielo de cada día. Hay tres tipos de cielos posibles: a, b ó c, correspondiendo a cielo claro, nuboso o cubierto respectivamente. Para realizar esta tarea se realizó un estudio estadístico de los días del período frío y otro de los días del período caluroso.

Al estar el programa desarrollado para el hemisferio norte, la radiación solar máxima que solicita para el plano sur corresponde a la radiación solar máxima para el plano norte de nuestro hemisferio. A su vez el valor ingresado es el máximo que admite el programa, no corresponde éste con el valor real para nuestro plano norte. El valor ingresado lo subvalora en un 17%.

- piel

En los detalles de piel, se solicita información demasiado detallada, no contando de forma inmediata con el dato solicitado, por ejemplo para el caso de los cerramientos transparentes, coeficiente de transmisión térmica de la piel en régimen de día y otro para el régimen de noche, factor de obstrucción y de protección. A su vez el valor de la hermeticidad no está claramente definido.

Para el caso de las superficies opacas, el programa solicita el dato de la posición del aislamiento con respecto al cerramiento pesado, no siendo posible representar la situación del prototipo en la que no hay cerramiento pesado.

### De la ayuda

La ayuda presenta inconcordancia con el sustento teórico desarrollado por los autores<sup>1</sup>, por ejemplo ecuación de esbeltez desarrollada en el programa (a través de la ayuda) y la que presenta el texto. De acuerdo a esta última el prototipo tendría  $E=0.74$  por lo que estaría comprendida dentro de los rangos del programa.

### De los datos de salida

- El programa da una temperatura media para la secuencia de días ingresados para cada período, permitiendo calcular la máxima y mínima según la

<sup>1</sup> Coch Roura y Serra Florensa, El disseny enrgétic a l'arquitectura, Edición UPC, Barcelona, 1994

**Capítulo 7:**

oscilación indicada, no siendo posible la comparación con otros programas que arrojan los datos de temperaturas horarias para un determinado día.

- Los resultados arrojados por el programa para el período frío se aproximan más con los datos monitoreados por el DECCA en el prototipo en estudio que los resultados simulados para el período caluroso.
- Al realizar modificaciones en los datos, los resultados se actualizan rápidamente, permitiendo verificar al instante la variación de los mismos e identificar de qué forma influye cada variable ingresada.

## Anexo IV

---

En todo el documento se toman las siguientes abreviaciones:

Tm	Temperatura media en °C
Tx	Temperatura máxima absoluta en °C
Tn	Temperatura mínima absoluta en °C
Tx-Tn	Amplitud en °C
Monitor.	Temperatura monitoreada en °C
Text	Temperatura exterior registrada en la estación meteorológica
$\Delta$ tm	Diferencia entre temperatura media monitoreada y temperatura media simulada
$\Delta$ tx	Diferencia de temperatura máxima monitoreada y temperatura media simulada
$\Delta$ tn	Diferencia de temperatura mínima monitoreada y temperatura media simulada
$\Delta$ A	Diferencia de amplitud monitoreada y amplitud simulada

**ENERGY PLUS (EP)**

Resultados de simulación y correlación con monitoreo

1) Prototipo con ventana norte tapeada (VT)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	19.6	27.5	17	13.3	6	14.2	21.1	23.6	18	18.5	6	5.1
2	21.2	31.1	16	13.7	6	17.4	20.2	22.4	18	17.9	6	4.5
3	23.1	35.2	16	13.3	6	21.8	21.7	25.2	18	18.0	6	7.2
4	19.6	27.5	17	13.3	6	14.2	21.1	23.6	18	18.5	6	5.1
5	21.2	31.1	16	13.7	6	17.4	20.2	22.4	18	17.9	6	4.5
6	23.1	35.2	16	13.3	6	21.8	21.7	25.2	18	18.0	6	7.2

Fig. 7.IV.1. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP.

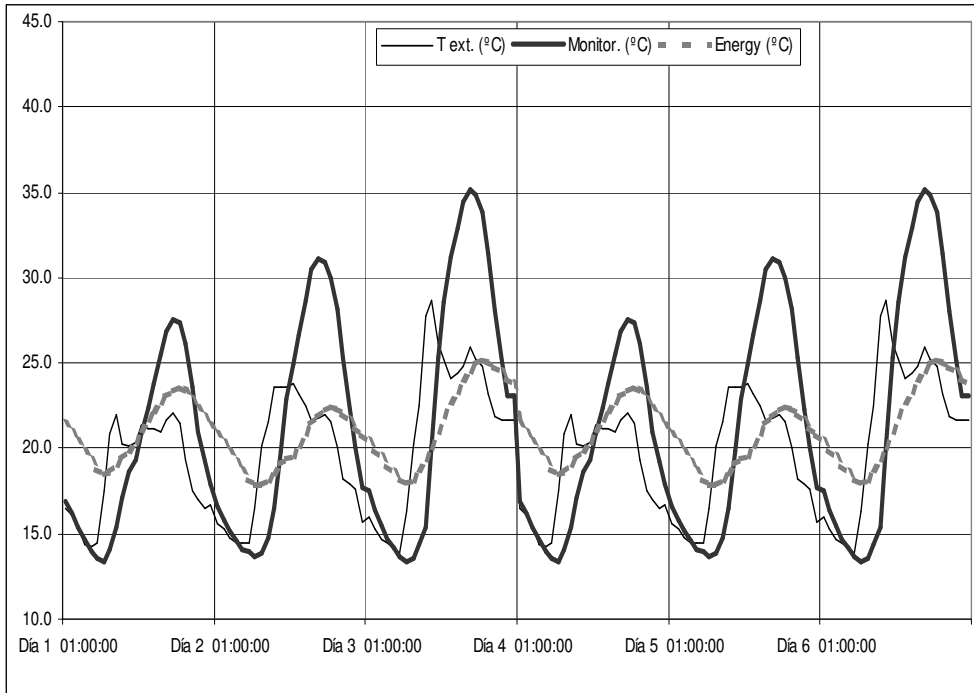


Fig. 7.IV.2. Distribución de las temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-1.5	4.0	-5.2	9.1
2	1.0	8.7	-4.2	12.9
3	1.5	9.9	-4.7	14.6
4	-1.5	4.0	-5.2	9.1
5	1.0	8.7	-4.2	12.9
6	1.5	9.9	-4.7	14.6

Fig. 7.IV.3. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP.

2) Prototipo con protección solar en techo + ventana norte (PTV)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	25.5	36.1	15	16.9	6	19.3	26.5	31.6	16	20.9	6	10.6
2	26.3	36.0	14	18.8	6	17.3	27.3	32.1	16	22.1	6	9.9
3	28.5	37.7	17	21.1	6	16.5	29.8	35.1	17	24.8	6	10.3
4	27.6	35.3	15	22.9	22	12.4	28.6	31.9	16	25.4	7	6.5
5	25.6	34.4	16	18.8	6	15.7	26.5	30.6	16	22.0	6	8.6
6	26.6	36.6	16	19.4	6	17.2	21.7	23.6	16	19.6	6	4.0

Fig.7. IV.4. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP.

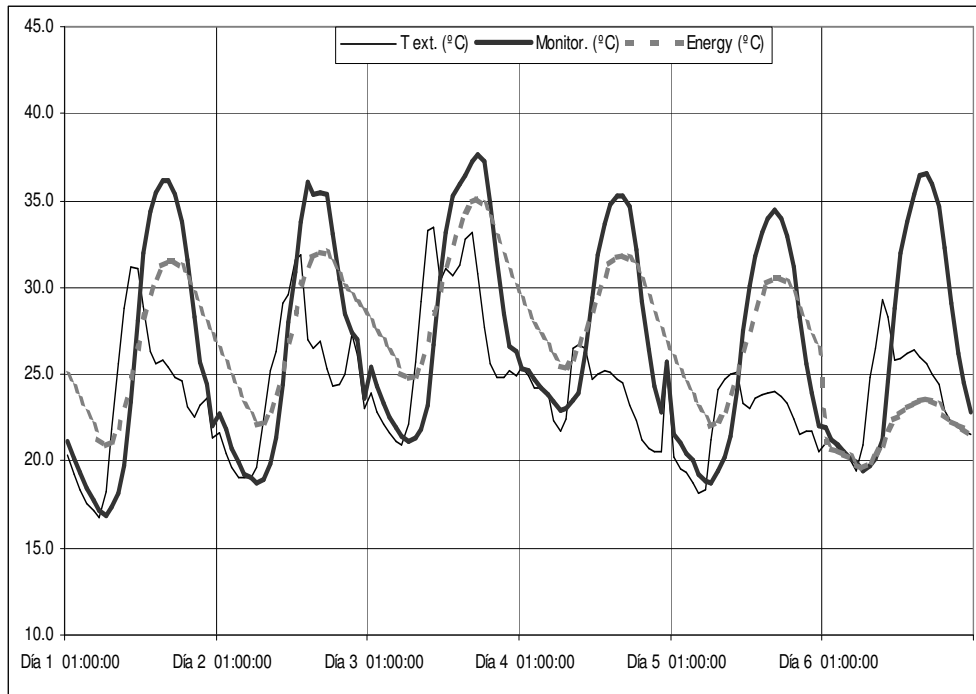


Fig.7. IV.5. Distribución de las temperaturas horarias monitoreas y simuladas por el EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-0.9	4.6	-4.1	8.6
2	-1.0	3.9	-3.4	7.3
3	-1.3	2.5	-3.7	6.2
4	-1.0	3.4	-2.5	6.0
5	-0.9	3.8	-3.3	7.1
6	4.8	13.0	-0.2	13.2

Fig.7. IV.6. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

3) Prototipo con protección solar en ventana norte (PV)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	26.0	34.2	15	18.8	6	15.5	23.6	27.6	17	19.5	6	8.1
2	23.9	28.6	15	20.6	5	8.0	24.6	28.2	16	22.1	7	6.1
3	22.7	30.6	15	17.7	6	12.9	25.3	30.7	16	20.2	6	10.5
4	23.4	33.1	14	15.7	6	17.4	25.8	31.4	17	19.9	6	11.5
5	28.7	39.1	15	21.3	6	17.8	29.0	33.9	17	23.7	6	10.2
6	28.8	39.8	15	22.5	6	17.3	30.2	34.8	16	26.0	7	8.9

Fig. 7.IV.7. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP.

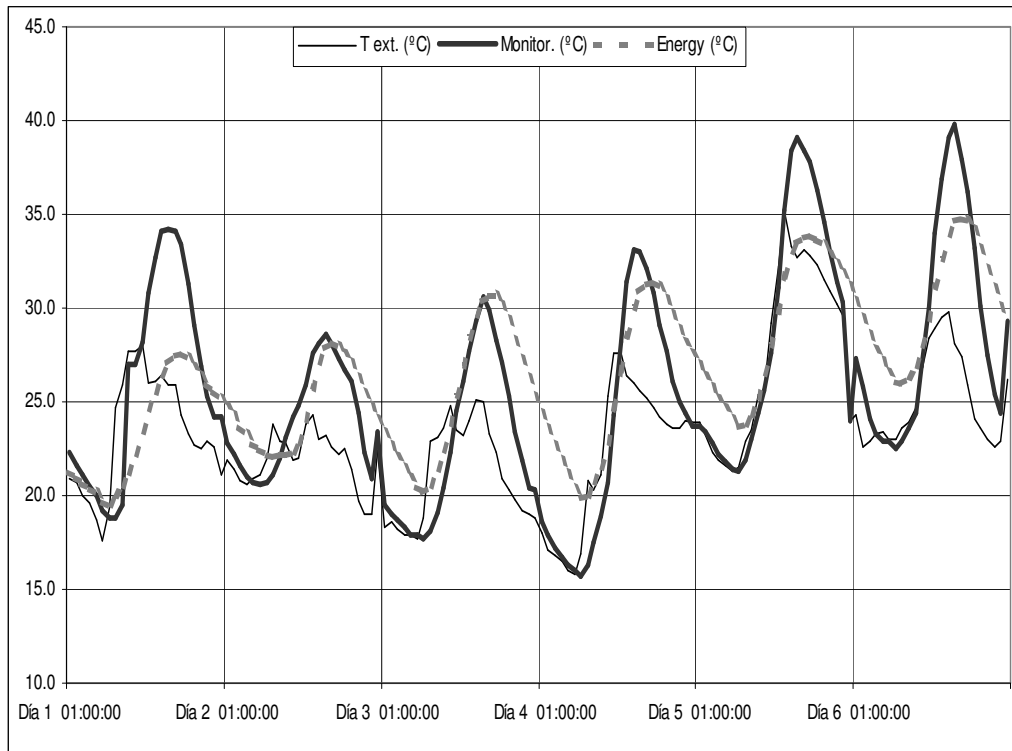


Fig. 7.IV.8. Distribución de las temperaturas horarias monitoreas y simuladas por el EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	2.4	6.6	-0.8	7.4
2	-0.7	0.4	-1.5	1.9
3	-2.7	-0.1	-2.5	2.4
4	-2.4	1.7	-4.2	5.9
5	-0.3	5.2	-2.4	7.6
6	-1.4	4.9	-3.5	8.5

Fig. 7.IV.9. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP



4) Prototipo con masa térmica + protección solar en ventana norte, período caluroso, (M+P)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	28.3	35.3	16	22.9	7	12.4	29.0	30.9	0	27.6	7	3.3
2	28.5	35.6	16	22.9	7	12.7	30.1	35.0	15	25.9	7	9.0
3	28.0	34.9	16	23.0	7	11.9	31.0	36.0	15	26.9	6	9.1
4	24.9	26.3	14	23.0	22	3.4	30.2	34.5	15	27.7	6	6.8
5	20.6	22.6	23	19.4	20	3.2	28.0	30.6	15	26.1	7	4.5
6	22.8	29.1	15	18.7	5	10.4	27.2	31.3	16	24.2	7	7.2

Fig.7. IV.10. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP.

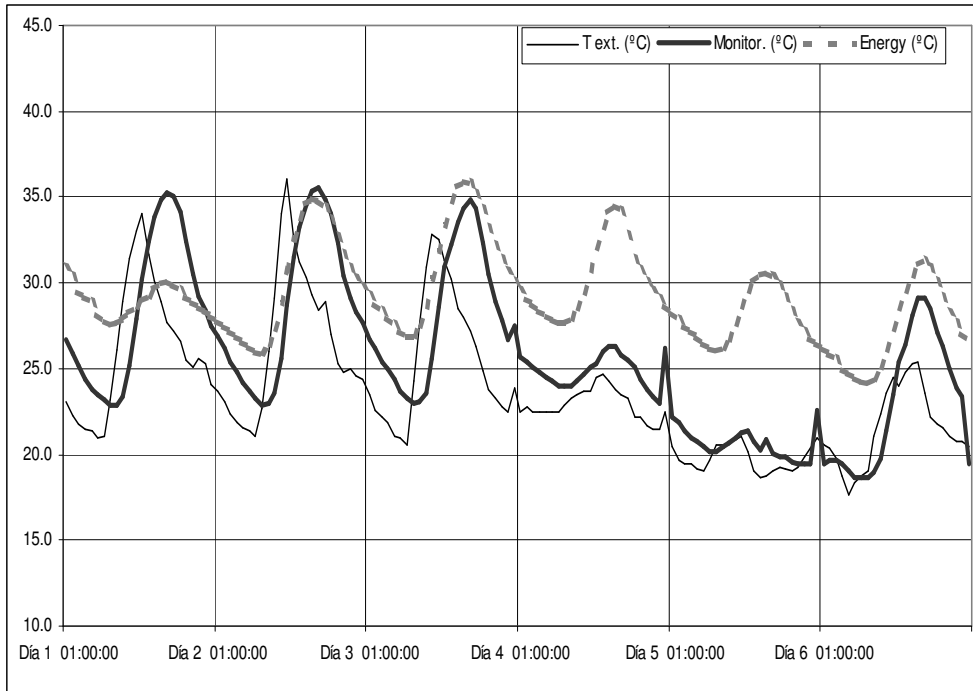


Fig.7. IV.11. Distribución de las temperaturas horarias monitoreas y simuladas por el EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-0.7	4.4	-4.7	9.1
2	-1.5	0.6	-3.1	3.7
3	-3.0	-1.1	-4.0	2.8
4	-5.3	-8.2	-4.7	-3.5
5	-7.4	-8.0	-6.7	-1.3
6	-4.4	-2.2	-5.5	3.3

Fig. 7.IV.12. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP.

5) Fluctuaciones libres en el período caluroso (FL)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	26.5	44.8	14	17.2	6	27.5	26.2	32.6	13	21.7	7	11.0
2	23.8	35.3	13	17.1	5	18.1	28.1	39.1	16	19.5	7	19.6
3	26.6	44.3	14	17.5	5	26.8	25.1	29.2	16	21.8	8	7.4
4	23.7	40.5	15	16.4	4	24.1	28.0	39.2	16	19.2	7	20.0
5	19.5	25.1	15	16.8	22	8.3	26.9	33.8	15	21.7	7	12.1
6	20.5	33.9	14	13.5	6	20.4	20.5	25.4	15	16.2	7	9.2

Fig. IV.13. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

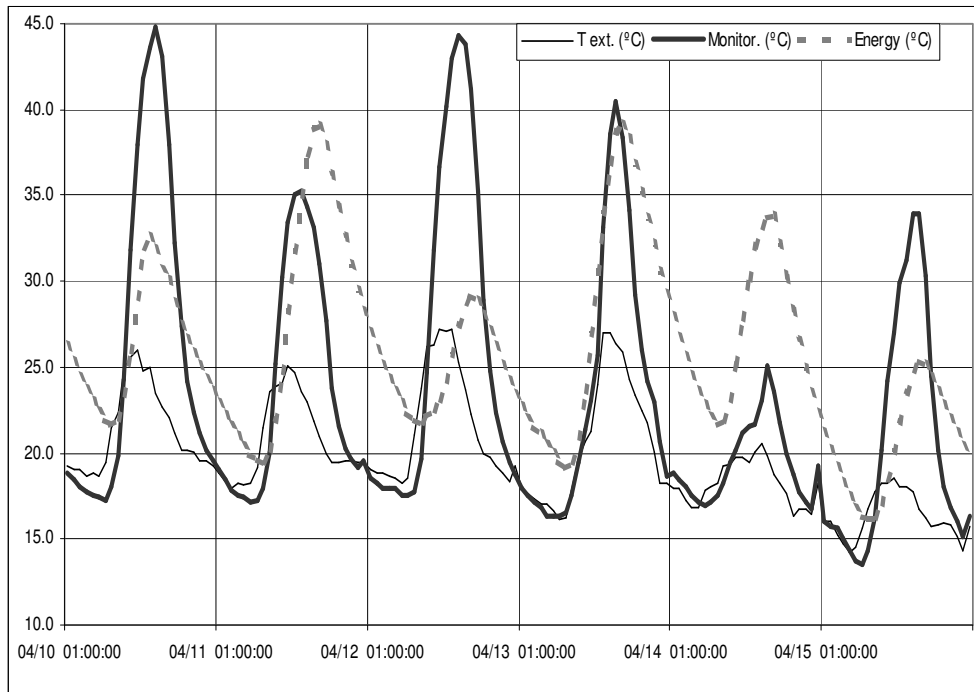


Fig. IV.14. Distribución de las temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	0.3	12.2	-4.4	16.6
2	-4.3	-3.8	-2.4	-1.4
3	1.5	15.1	-4.3	19.4
4	-4.4	1.3	-2.8	4.1
5	-7.4	-8.8	-4.9	-3.8
6	0.0	8.5	-2.7	11.2

Fig. IV.15. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

6) Fluctuaciones libres en el período frío (FL)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	13.5	24.1	14	8.6	0	15.5	15.4	18.2	14	12.4	8	5.8
2	14.1	23.1	13	8.1	7	14.9	17.6	25.9	16	10.6	7	15.3
3	18.8	38.1	14	10.5	22	27.6	21.5	32.7	16	13.1	7	19.6
4	17.3	35.7	14	8.2	6	27.5	15.5	19.7	0	13.4	8	6.3
5	14.9	23.9	13	11.0	1	12.9	20.4	32.0	16	11.9	6	20.2
6	14.3	16.0	14	13.3	1	2.7	23.9	34.0	16	16.1	7	17.9

Fig.7. IV.16. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP.

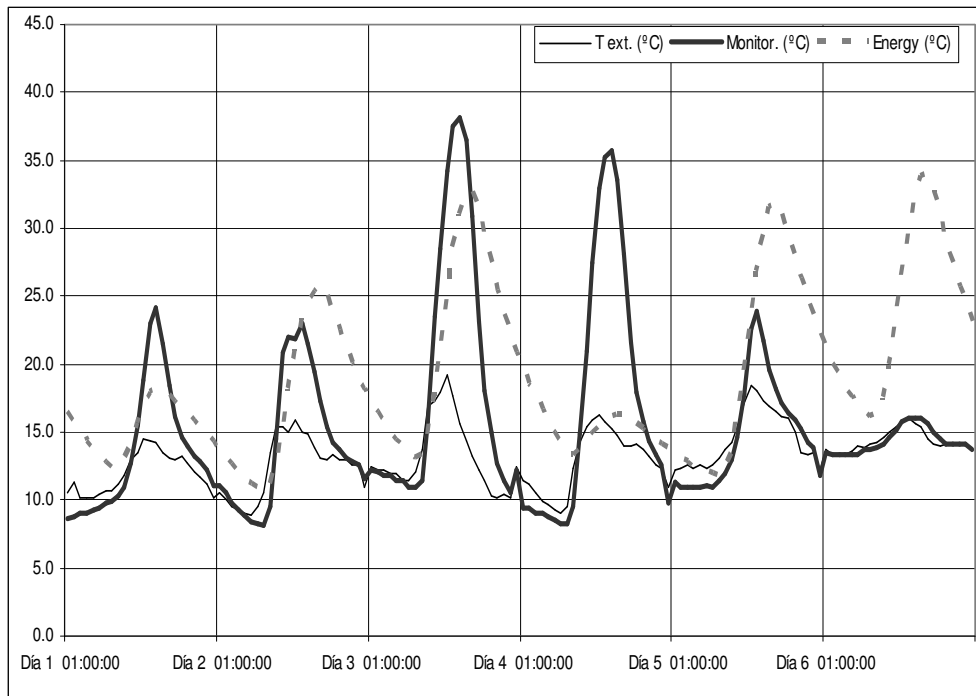


Fig.7. IV.17. Distribución de las temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-1.9	5.9	-3.8	9.7
2	-3.6	-2.8	-2.5	-0.4
3	-2.7	5.4	-2.6	8.0
4	1.7	16.0	-5.1	21.1
5	-5.5	-8.1	-0.9	-7.2
6	-9.5	-18.0	-2.8	-15.2

Fig. 7.IV.18. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

7) Prototipo con masa térmica, período frío, (M)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	16.0	28.5	15	7.8	6	20.7	16.6	19.0	16	15.0	6	4.0
2	16.8	28.3	15	7.9	7	20.4	15.4	19.7	13	12.5	6	7.2
3	13.5	18.2	12	8.6	6	9.5	12.9	13.6	15	11.6	7	2.0
4	20.0	33.1	15	12.9	2	20.2	13.5	15.0	14	12.1	0	2.9
5	16.6	20.8	14	12.9	6	7.9	17.1	23.8	15	11.9	6	11.8
6	10.8	14.0	23	8.2	22	5.8	18.1	23.1	15	14.5	7	8.6

Fig.7. IV.19. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP.

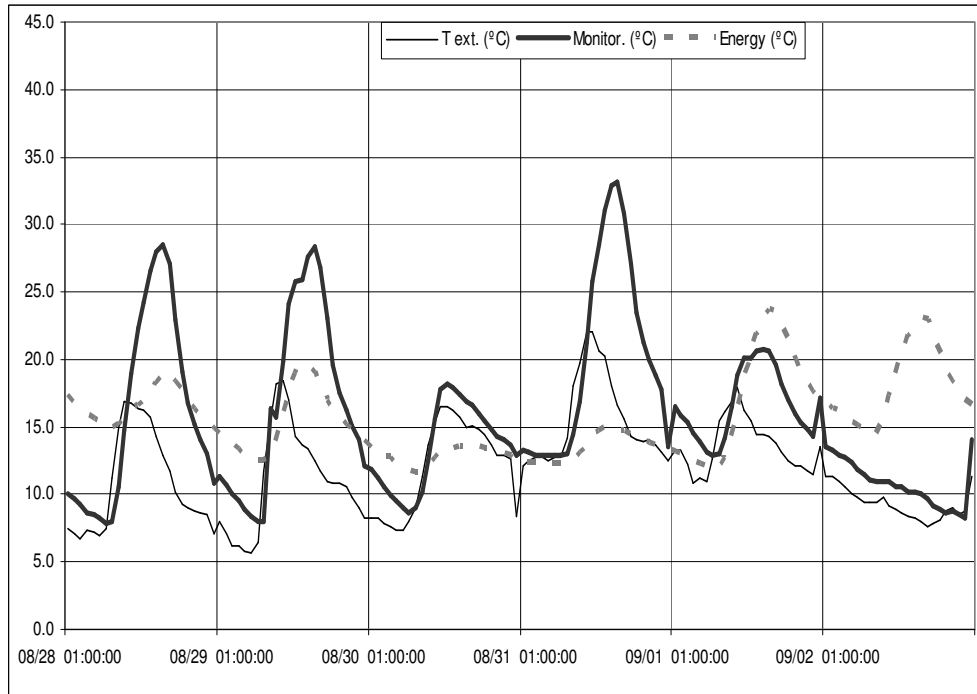


Fig. 7.IV.20. Distribución de las temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-0.6	9.5	-7.1	16.7
2	1.4	8.6	-4.5	13.2
3	0.6	4.6	-3.0	7.6
4	6.6	18.1	0.8	17.3
5	-0.5	-2.9	1.0	-3.9
6	-7.2	-9.1	-6.3	-2.8

Fig.7. IV.21. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

8) Prototipo con masa térmica y protección solar en ventana norte, período frío, (M+P)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	15.7	25.6	15	8.2	4	17.3	19.8	25.9	15	14.2	6	11.7
2	19.6	25.6	14	14.9	6	10.7	21.9	26.6	15	18.1	6	8.5
3	18.0	21.5	11	15.6	6	5.9	21.0	23.7	13	19.0	6	4.7
4	14.1	16.0	15	12.0	22	4.0	17.8	20.4	15	16.1	8	4.3
5	16.0	24.3	15	10.2	7	14.1	16.8	19.3	16	14.5	7	4.8
6	17.9	25.6	15	11.5	6	14.1	18.6	23.4	16	14.4	5	9.0

Fig.7. IV.22. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

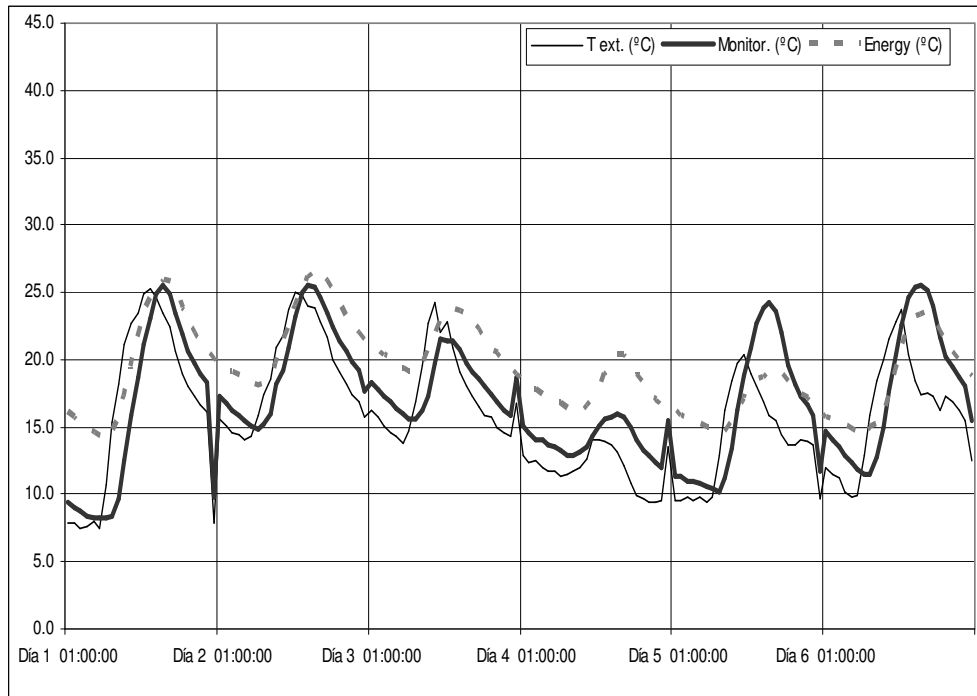


Fig.7. IV.23. Distribución de las temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-4.1	-0.4	-5.9	5.6
2	-2.3	-1.0	-3.2	2.2
3	-3.0	-2.2	-3.4	1.2
4	-3.7	-4.4	-4.1	-0.3
5	-0.8	5.0	-4.3	9.3
6	-0.7	2.1	-2.9	5.1

Fig. 7.IV.24. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

9) Prototipo con masa térmica en el período caluroso (M)

Día	Monitoreo						Energyplus					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1.0	21.3	28.3	14	17.9	5	10.4	23.5	28.0	15	20.1	6	7.9
2.0	19.6	26.3	15	14.9	6	11.5	20.6	22.3	0	17.8	23	4.5
3.0	18.0	25.2	15	12.2	6	13.0	19.4	24.4	13	15.7	3	8.7
4.0	20.5	28.7	15	13.7	6	15.0	19.7	22.9	17	16.4	5	6.5
5.0	22.2	28.6	16	18.7	4	9.9	21.2	24.9	14	18.7	6	6.1
6.0	21.7	30.2	16	15.2	6	15.0	21.6	25.4	15	18.1	6	7.2

Fig. 7.IV.25. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

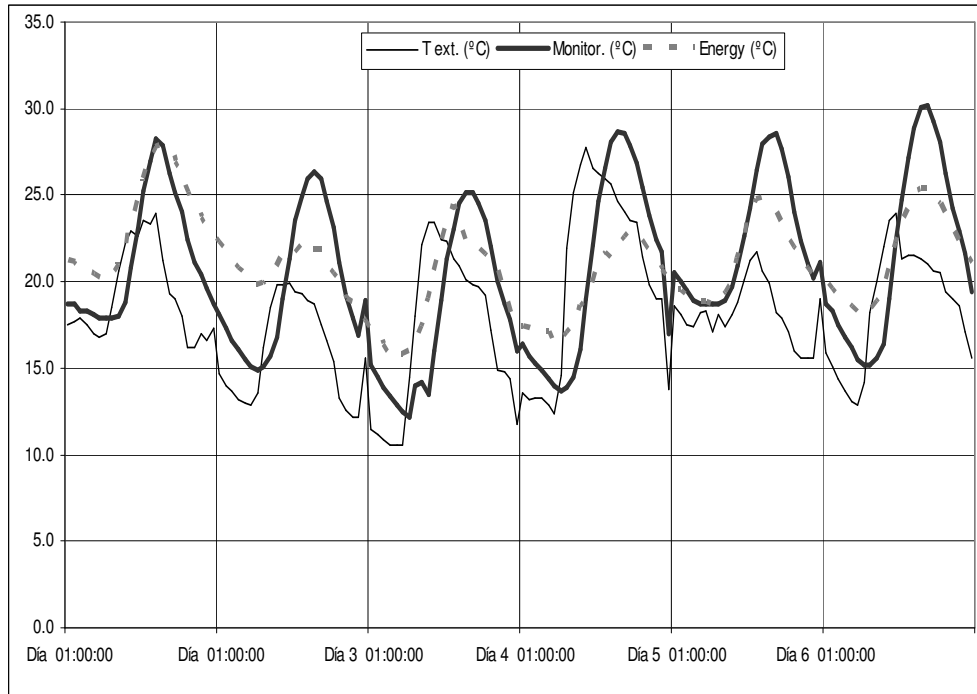


Fig.7. IV.26. Distribución de las temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por EP

Día	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-2.2	0.3	-2.2	2.5
2	-1.0	4.1	-3.0	7.0
3	-1.4	0.7	-3.6	4.3
4	0.8	5.8	-2.7	8.5
5	1.0	3.7	-0.1	3.8
6	0.1	4.9	-2.9	7.8

Fig. 7.IV.27. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por EP

## Anexo V

---

En todo el documento se toman las siguientes abreviaciones:

Tm	Temperatura media en °C
Tx	Temperatura máxima absoluta en °C
Tn	Temperatura mínima absoluta en °C
Tx-Tn	Amplitud en °C
Monitor.	Temperatura monitoreada en °C
Text	Temperatura exterior registrada en la estación meteorológica
$\Delta$ tm	Diferencia entre temperatura media monitoreada y temperatura media simulada
$\Delta$ tx	Diferencia de temperatura máxima monitoreada y temperatura media simulada
$\Delta$ tn	Diferencia de temperatura mínima monitoreada y temperatura media simulada
$\Delta$ A	Diferencia de amplitud monitoreada y amplitud simulada

**SIMEDIF**

Resultados de simulación y correlación con monitoreo

1) Prototipo con ventana norte tapeada

día	Monitoreo						Simedif					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	19.6	27.5	17	13.3	6	14.2	20.4	26.5	13	16.5	3	10
2	21.2	31.1	16	13.7	6	17.4	20.8	27.5	10	14.8	3	12.7
3	23.1	35.2	16	13.3	6	21.9	23.0	32.9	13	15.6	4	17.3
4	19.6	27.5	17	13.3	6	14.2	20.4	26.5	13	16.5	3	10
5	21.2	31.1	16	13.7	6	17.4	20.8	27.5	10	14.8	3	12.7
6	23.1	35.2	16	13.3	6	21.9	23.0	32.9	13	15.6	4	17.3

Fig.7. V.1. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por Simedif.

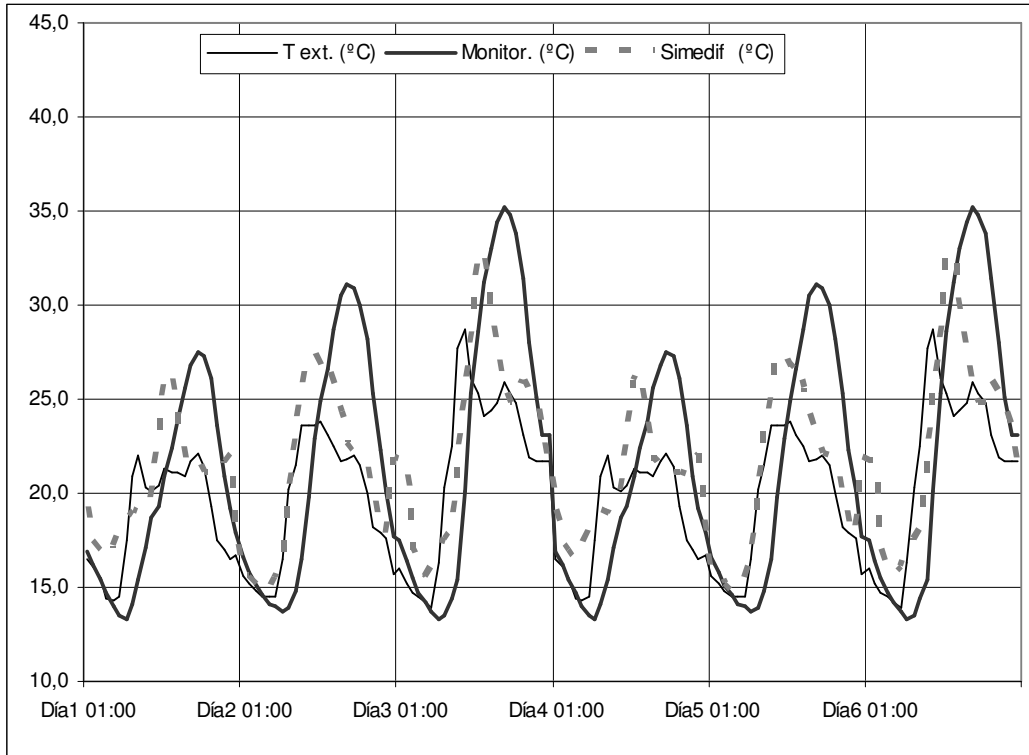


Fig. 7.V.2. Distribución de las temperaturas horarias monitoreadas y simuladas por Simedif

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	-0.8	1	-3.2	4.2
2	0.4	3.6	-1.1	4.7
3	0.1	2.3	-2.3	4.6
4	-0.8	1	-3.2	4.2
5	0.4	3.6	-1.1	4.7
6	0.1	2.3	-2.3	4.6

Fig. 7.V.3. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por Simedif.



2) Prototipo con protección solar en techo + ventana norte

día	Monitoreo						Simedif					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	25,5	36,1	15	16,9	6	19,3	24,6	34,4	13	18,5	6	15,9
2	26,3	36,0	14	18,8	6	17,3	26,1	35,6	13	19,0	3	16,6
3	28,5	37,7	17	21,1	6	16,5	28,4	36,8	12	22,4	5	14,4
4	27,6	35,3	15	22,9	22	12,4	25,7	30,3	13	21,2	23	9,1
5	25,6	34,4	16	18,8	6	15,7	23,7	28,9	12	19,5	4	9,4
6	26,6	36,6	16	19,4	6	17,2	24,8	32,3	13	21,0	4	11,3

Fig.7.V.4. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por Simedif.

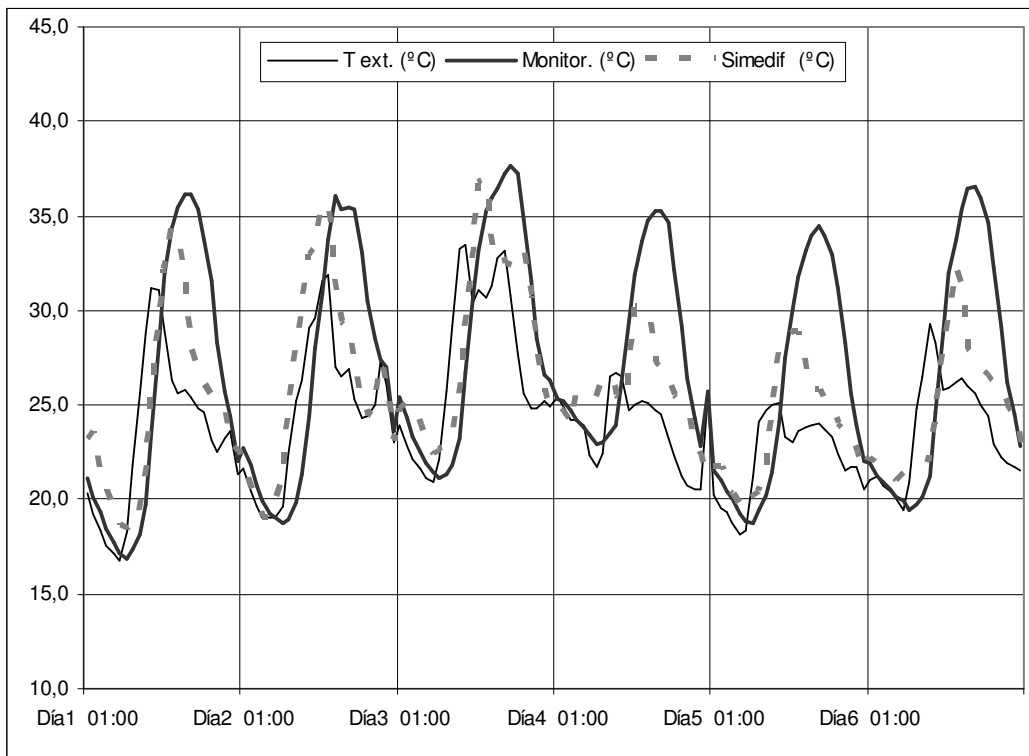


Fig. 7.V.5. Distribución de las temperaturas horarias monitoreas y simuladas por el Simedif.

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	0.9	1.7	-1.6	3.4
2	0.2	0.4	-0.2	0.6
3	0.2	0.8	-1.3	2.1
4	1.9	5.0	1.7	3.4
5	1.9	5.6	-0.7	6.3
6	1.8	4.3	-1.6	5.9

Fig.7. V.6. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por Simedif.

3) Prototipo con protección solar en ventana norte

día	Monitoreo						Simedif					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	26,0	34,2	15	18,8	6	15,5	25,0	32,3	12	20,4	5	11,9
2	23,9	28,6	15	20,6	5	8,0	23,9	28,9	12	19,0	22	9,9
3	22,7	30,6	15	17,7	6	12,9	23,1	30,0	10	17,9	3	12,1
4	23,4	33,1	14	15,7	6	17,4	23,2	31,7	14	17,1	4	14,6
5	28,7	39,1	15	21,3	6	17,8	29,4	39,5	14	21,9	4	17,6
6	28,8	39,8	15	22,5	6	17,3	27,3	35,1	13	22,6	1	12,5

Fig. 7.V.7. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por Simedif.

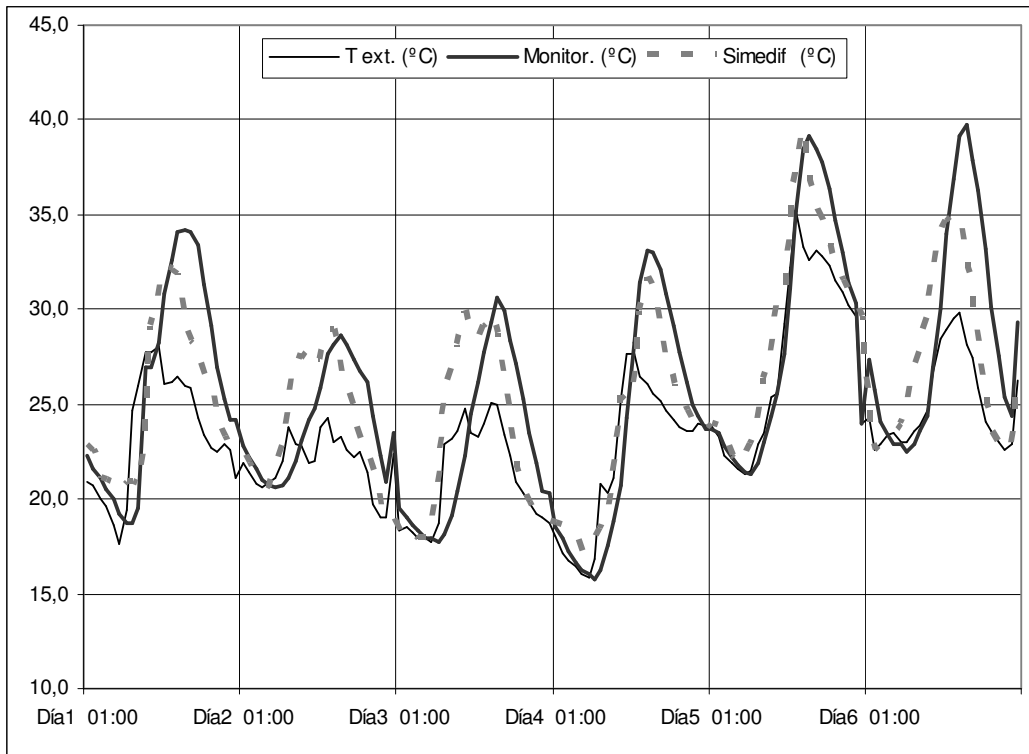


Fig.7. V.8. Distribución de las temperaturas horarias monitoreas y simuladas por el Simedif.

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta Tm$	$\Delta Tx$	$\Delta Tn$	$\Delta A$
1	1,0	1,9	-1,7	3,6
2	0,0	-0,3	1,6	-1,9
3	-0,4	0,6	-0,2	0,8
4	0,1	1,4	-1,4	2,8
5	-0,7	-0,4	-0,6	0,2
6	1,5	4,7	-0,1	4,8

Fig.7. V.9. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por Simedif.

4) Prototipo con ventilación nocturna (18 a 9hs)

día	Monitoreo						Simedif					
	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn	Tm	Tx	Hora	Tn	Hora	Tx-Tn
1	22,3	32,1	15	18,5	6	13,7	22,1	27,7	12	18,2	5	9,5
2	21,9	34,3	15	14,9	5	19,5	21,1	26,8	12	16,1	22	10,7
3	22,0	35,3	15	14,6	6	20,7	20,5	24,9	10	14,9	3	10,0
4	24,9	37,4	14	17,3	6	20,1	23,5	29,9	14	17,5	4	12,4
5	27,6	39,1	15	20,4	6	18,7	24,6	29,2	14	20,7	4	8,5
6	26,3	35,9	15	21,3	6	14,6	23,8	29,7	13	19,4	1	10,3

Fig.7. V.10. Tabla comparativa entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por Simedif.

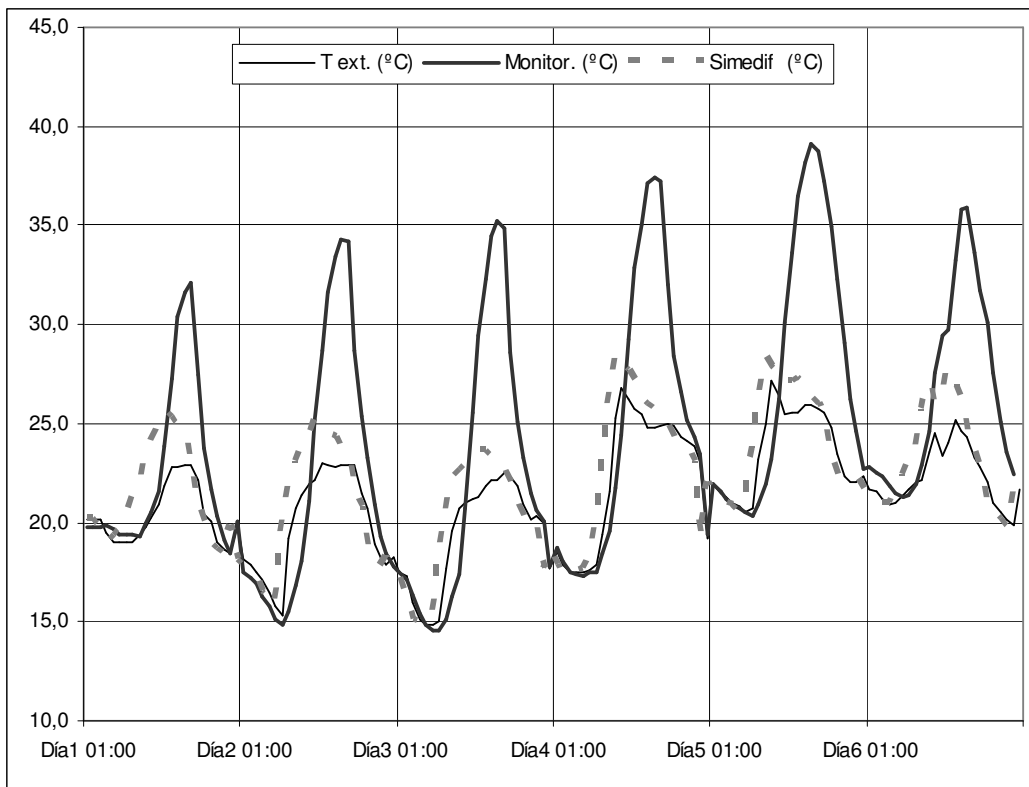


Fig. 7.V.11. Distribución de las temperaturas horarias monitoreas y simuladas por el Simedif.

DÍA	Diferencia diaria (°C)			
	$\Delta T_m$	$\Delta T_x$	$\Delta T_n$	$\Delta A$
1	0,2	4,4	0,3	4,1
2	0,8	7,6	-1,2	8,8
3	1,6	10,4	-0,3	10,7
4	1,4	7,6	-0,2	7,8
5	3,1	9,9	-0,3	10,2
6	2,5	6,2	1,9	4,3

Fig. 7.V.12. Tabla de diferencias entre temperaturas medias diarias monitoreadas y simuladas por Simedif.